

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIREÇÃO DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

BIANCA MARIA MACEDO NASCIMENTO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA, CUSTO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA
RECICLAGEM EM RECUPERAÇÃO DE MALHAS ASFÁLTICAS SERGIPANAS**

MONOGRAFIA

**ARACAJU
2022**

BIANCA MARIA MACEDO NASCIMENTO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA, CUSTO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA
RECICLAGEM EM RECUPERAÇÃO DE MALHAS ASFÁLTICAS SERGIPANAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho

**ARACAJU
2022**

Nascimento, Bianca Maria Macedo

N244a Análise da eficiência, custo e sustentabilidade ambiental da reciclagem em recuperação das malhas asfálticas sergipanas. / Bianca Maria Macedo Nascimento. – Aracaju, 2022.

69 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho. Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2022.

1. Reciclagem. 2. Malha asfáltica. 3. Recuperação de pavimento. 4. Método convencional. 5. Sustentabilidade ambiental. I. Carvalho, Carlos Henrique de. II. Título.

CDU 628.477.6 (81)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia N° 214

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA, CUSTO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA
RECICLAGEM EM RECUPERAÇÕES DE MALHAS ASFÁLTICAS SERGIPANAS**

BIANCA MARIA MACEDO NASCIMENTO

Esta monografia foi apresentada às 19 horas do dia 08 de fevereiro de 2022 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



Profª. M.Sc. Arilmara Abade Bandeira
(IFS – Campus Aracaju)



Profª. Maria Kerolainy Santos de Souza
(Pio X – Campus Aracaju)



Profª. MSc. Adriana Virginia Santana Melo
(IFS – Campus Aracaju)



Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho
(IFS – Campus Aracaju)

Orientador



Documento assinado digitalmente
Pablo Gleydson de Sousa
Data: 18/02/2022 17:41:15-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me amar mais do que mereço e por me dar o fôlego de vida todos os dias, para que eu possa realizar esse sonho.

Aos meus pais, João Martins e Vanuzia Canuta, agradeço imensamente por acreditarem em mim e pelas lutas diárias para que o meu sonho fosse realizado. Obrigada por cada incentivo, amor e conselho, sem vocês e Deus não chegaria até aqui. Agradeço à minha irmã Isabella por todo amor e apoio.

À toda minha família, pelo apoio, amor e auxílio na construção do meu caráter. Em especial, aos meus avôs Antônio, Maria de Fátima, Raimunda, José Batista (in memoriam), minhas tias Edna, Carminha, Maria José, Evanilda, Gil, Josefa (in memoriam), aos meus tios Hélio, Adalton, Jarbas (in memoriam) e todos os meus primos e primas. Agradeço também a Acilegna, Kátia, Maria, Rebeca e Marcia por todo o apoio.

Ao meu namorado Filipe Diniz, agradeço por todo apoio, amor e paciência nos momentos difíceis, por todas as palavras de apoio e incentivo e por me acompanhar e participar de perto dessa jornada.

Aos professores do IFS, Campus Aracaju e Estância, por todo apoio e aprendizado, em especial ao meu Professor Orientador Dr. Carlos Henrique. Obrigada por todos os ensinamentos concedidos de forma dedicada. Aos demais professores, como Gilberto, Arilmara, Vanessa, Lúcia Helena, Carlos Mariano, Maria Simone, José Hélio, Fernandes, Luciano, Herbet Alves, Adysson, Anna Cristina, Rômulo e Adriana que foram essenciais na minha formação profissional.

Aos meus colegas de turma, amigos e irmãos de coração, Emily, Luan e João Victor, que foram meu apoio e acompanharam tudo de perto, passando junto comigo pelos mesmos momentos de comemorações e angústias, mas com um sorriso sempre no rosto. Sem vocês, essa caminhada seria mais difícil. Agradeço também aos demais colegas de turma e amigos do IFS, em especial a Robert, Davysson, Davi, George, Delvan, Jhonathan, Milly e Elton. Obrigada pela cumplicidade e união!

Externo minha gratidão a todos os colegas de trabalho do DER-SE, em especial a Sérgio, Alzenia, Karol, Xavier, Micaelly, Igor, Rosângela e Katharine e também aqueles que me auxiliaram na realização desse trabalho: Jodil, Wellington, Andrea, Pedro Valeriano e Vander.

RESUMO

NASCIMENTO, Bianca Maria Macedo. **Análise da Eficiência, Custo e Sustentabilidade Ambiental da Reciclagem em Recuperação das Malhas Asfálticas Sergipanas**. 69 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2022.

O estudo discorre sobre o procedimento de reciclagem em recuperação de malha asfáltica de rodovias estaduais sergipanas, evidenciando uma análise comparativa com o método convencional de recuperação em pavimento asfáltico urbano e tem por objetivo evidenciar a importância da técnica de reciclagem na recuperação do pavimento rodoviário por meio da eficiência técnica quanto aos aspectos econômicos e sustentáveis. O trabalho foi desenvolvido mediante pesquisa bibliográfica e coleta de dados em órgãos públicos, sendo esses estadual (Departamento Estadual de Infraestrutura Rodoviária de Sergipe – DER/SE) e municipal (Empresa Municipal de Obras e Urbanização – EMURB). Os resultados obtidos na análise da conformidade dos ensaios com relação às normativas do DNIT, evidenciaram que o pavimento reciclado assegura a qualidade, tal como o método convencional, demonstrando até mesmo, nesse caso, que o pavimento reciclado apresentou distribuição granulométrica mais adequada, como também, comprovou que a sua aplicação possibilita a capitalização financeira e a sustentabilidade ambiental. Dessa forma, é possível concluir que os objetivos do presente trabalho foram atingidos, já que o pavimento rodoviário reciclado constatou ser eficiente, econômico e sustentável.

Palavras-chave: Reciclagem. Malha asfáltica. Recuperação de pavimento. Método Convencional. Sustentabilidade Ambiental.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Bianca Maria Macedo. **Análise da Eficiência, Custo e Sustentabilidade Ambiental da Reciclagem em Recuperação das Malhas Asfálticas Sergipanas.** 69 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2022.

The study discusses the recycling procedure in asphalt recovery of state highways in Sergipe, showing a comparative analysis with the conventional method of recovery in urban asphalt pavement and aims to highlight the importance of the recycling technique in the recovery of road pavement through technical efficiency in terms of economic and sustainable aspects. The work was developed through bibliographical research and data collection in public agencies, being these state (State Department of Road Infrastructure of Sergipe - DER/SE) and municipal (Municipal Company of Works and Urbanization - EMURB). The results obtained in the analysis of the conformity of the tests in relation to the DNIT regulations, showed that the recycled pavement ensures quality, as well as the conventional method, even demonstrating, in this case, that the recycled pavement presented a more adequate granulometric distribution, as well as , proved that its application enables financial capitalization and environmental sustainability. In this way, it is possible to conclude that the objectives of the present work were reached, since the recycled road pavement was found to be efficient, economical and sustainable.

Keywords: Recycling. Asphalt mesh. Floor recovery. Conventional Method. Environmental Sustainability.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de reciclagem	21
Quadro 2 – Classificação da reciclagem	22
Quadro 3 – Classificação dos solos por TRB (Transportation Research Board).....	30
Quadro 4 – Cálculo da expansão	32
Quadro 5 – Cálculo do ISC.....	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Padrões DNIT X Resultados de Ensaios da base existente da SE-065	43
Gráfico 2 – Granulometria – Padrões DNIT X Resultados de Ensaios da base existente da SE-065	43
Gráfico 3 – Padrões DNIT X Resultados de Ensaios da base com adição de mistura da SE-065	46
Gráfico 4 – Granulometria - Padrões DNIT X Resultados de Ensaios da base com adição de mistura da SE-065	46
Gráfico 5 – Padrões DNIT X Resultados de Ensaios de acompanhamento de obra da SE-065	48
Gráfico 6 – Granulometria - Padrões DNIT X Resultados de Ensaios de acompanhamento de obra da SE-065	48
Gráfico 7 – Padrões DNIT X Resultados de ensaios na camada de asfalto da SE-065	50
Gráfico 8 – Padrões DNIT X Resultados de ensaios da base da Rua A	52
Gráfico 9 – Padrões DNIT X Resultados de ensaios na camada de asfalto da Rua A	54

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ensaio do Limite de Liquidez	27
Figura 2 – Sondagem para controle tecnológico	38
Figura 3 – Medição da espessura	38
Figura 4 – Fechamento do furo	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações gerais pertinentes à rodovia.....	36
Tabela 2 – Classificação da reciclagem da Rodovia SE-065	36
Tabela 3 – Resumo dos ensaios da base existente	60
Tabela 4 – Tabela resumo dos ensaios da mistura da base existente com CBUQ incorporado, acrescentando 15% de areia fina e 25% de brita corrida	61
Tabela 5 – Resumo dos ensaios realizados em laboratório a respeito do acompanhamento da obra	62
Tabela 6 – Resultados obtidos referente ao controle tecnológico	62
Tabela 7 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por fresagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água)	64
Tabela 8 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por fresagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água), com descrição da pavimentação	65
Tabela 9 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por reciclagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água)	68
Tabela 10 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por reciclagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água), com descrição da pavimentação	69
Tabela 11 – Resultados obtidos do estudo da base.....	63
Tabela 12 – Boletim de sondagem da camada asfáltica.....	63
Tabela 13 – Parâmetros do DNIT para ensaios da camada de base.....	41
Tabela 14 – Granulometria de acordo com DNIT 141/2010 - ES	42
Tabela 15 – Análise granulométrica da camada de base existente.....	42
Tabela 16 – Análise granulométrica da camada de base com adição de mistura.....	45
Tabela 17 – Análise granulométrica dos ensaios de acompanhamento de obra.....	47
Tabela 18 –Tolerâncias referente à granulometria e aos percentuais do ligante asfáltico.....	49
Tabela 19 – Análise granulométrica dos ensaios da camada de asfalto.....	50
Tabela 20 – Análise granulométrica dos ensaios na camada de asfalto do pavimento asfáltico urbano.....	53

LISTA DE SIGLAS

AASHO	<i>American Association of State Highway Transportation Officials</i>
CAP	Cimento asfáltico de petróleo
CAUQ	Concreto asfáltico usinado a quente
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DER-SE	Departamento Estadual de Infraestrutura Rodoviária de Sergipe
DMT	Distância Média de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMURB	Empresa Municipal de Obras e Urbanização de Aracaju
GEPRO	Gerência de Projetos
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
ISC	Índice de Suporte Califórnia de Solos
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de plasticidade
N	Número de Tráfego
PMF	Pré-misturado a frio
PMQ	Pré-misturado a quente
RAP	<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>
SERDURBS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	18
2.1.1 Pavimento Flexível.....	18
2.2 RECUPERAÇÃO RODOVIÁRIA.....	19
2.3 RECICLAGEM EM RODOVIAS	20
2.3.1 Tipos de Reciclagem para Pavimentos Flexíveis	21
2.4 RECICLAGEM EM RODOVIAS SERGIPANAS.....	23
2.4.1 Procedimento para Reciclagem do Revestimento Asfáltico com Incorporação de Brita Comercial à Base	23
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	25
3.1.1 Pesquisa bibliográfica	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 COLETA DE DADOS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO RODOVIÁRIO	35
4.1.1 Dados Obtidos das Características e Classificações da Rodovia	35
4.1.2 Dados Obtidos dos Resultados Oriundos do Estudo da Base Existente	36
4.1.3 Dados Obtidos das Características das Misturas da Base Existente com CBUQ Incorporado e Adição de Areia e Brita Corrida.....	37
4.1.4 Dados Obtidos dos Resultados de Ensaios de Acompanhamento da Obra.....	37
4.1.5 Dados Obtidos no Controle Tecnológico Realizado Posteriormente a Finalização da Obra Rodoviária.....	37
4.1.6 Dados Obtidos das Planilhas Orçamentárias da Rodovia SE-065	39
4.2 COLETA DE DADOS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO URBANO.....	40
4.2.1 Dados Obtidos Mediante Ensaios de Estudo da Base	40
4.2.2 Dados Obtidos Mediante Ensaios da Camada Asfáltica.....	40
4.3 RODOVIA SE-065 – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE BASE	41
4.3.1 Resultados e Discussão da Análise do Estudo da Base Existente em Comparação a Norma DNIT141/2010 – ES	41
4.3.2 Resultados e Discussão da Análise das Características das Misturas da Base Existente	

com CBUQ Incorporado com Adição de Areia e Brita Corrida em Comparação à Norma DNIT 141/2010 – ES.....	44
4.3.3 Resultados e discussão da Análise dos Dados Obtidos nos Ensaios de Acompanhamento da Obra na Camada de Base em Comparação a Norma DNIT 141/2010 – ES.....	47
4.4 RODOVIA SE-065 – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE ASFALTO	49
4.4.1 Resultado e Discussão da Análise dos Dados Obtidos nos Ensaios de Controle Tecnológico Realizado Posteriormente à Finalização da Obra em Comparação à Norma DNIT 031/2006 – ES.....	49
4.5 RUA A, LOTEAMENTO JOEL NASCIMENTO, BUGIO – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE BASE DO PAVIMENTO ASFÁLTICO URBANO	51
4.5.1 Resultados e Discussão da Análise de Coleta de Dados Obtidos Mediante Ensaios de Estudo da Base da Rua A, no Loteamento Joel Nascimento, em Comparação à Norma DNIT 141/2010 – ES.....	51
4.6 RUA A, LOTEAMENTO JOEL NASCIMENTO – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE ASFALTO.....	53
4.6.1 Resultados e Discussão da Análise de Coleta dos Dados Obtidos Mediante Ensaios da Sondagem de Estudo na Camada Asfáltica na Rua A, no Loteamento Joel Nascimento, em Comparação à Norma DNIT 031/2006 – ES	53
4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS DA RODOVIA SE-065	55
5 CONCLUSÃO.....	56
5.1 SUGESTÕES	56
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – DADOS DOS ENSAIOS DA BASE EXISTENTE (RODOVIA SE-065)	60
APÊNDICE B – DADOS DOS ENSAIOS DA BASE COM MISTURA (RODOVIA SE-065). 61	
APÊNDICE C – DADOS DOS ENSAIOS DE ACOMPANHAMENTO DA OBRA E CONTROLE TECNOLÓGICO (RODOVIA SE-065).....	62
APÊNDICE D – DADOS DOS ENSAIOS DA BASE E SONDAÇÃO DA CAMADA ASFÁLTICA DA RUA A	63
APÊNDICE E – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um ideal sistemático que se faz principalmente pela ação e constante busca entre desenvolvimento econômico e preservação do ecossistema (SANTOS; DEMUELENAERE, 2018).

Nesse sentido, a escolha brasileira pelo transporte rodoviário traz embutidas diversas consequências ambientais. Além da geração de gases poluentes através do escapamento dos automóveis, a implantação e recuperação de pavimentos impacta diretamente sobre o meio ambiente, uma vez que diversas são as modificações sucedidas ao local no qual será implantada (MOTTA, 2009).

Em face do exposto, o pavimento rodoviário necessita de recuperações periodicamente e diversas são as maneiras de executar essa recuperação, destacando-se no presente trabalho o processo de reciclagem de pavimentos.

A reciclagem do asfalto vem despertando o interesse e a atenção de muitos envolvidos em obras rodoviárias em todo território nacional, devido ao benefício ambiental e econômico trazido por este sistema de recuperação (BRUGNOLI *et al*, 2018).

Considerando o panorama atual, em que grande parcela dos pavimentos já extrapolou o tempo de vida útil para os quais foram planejados e que não passaram por manutenção apropriada nesse período, a academia indica a reciclagem como sendo a melhor resolução, tendo em vista que se trata de uma opção que produz vantagens de ordem econômica e ambiental (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT, 2017).

A viabilidade na reutilização de material reciclado vem crescendo constantemente, devido às inúmeras restrições ambientais na exploração de agregados naturais. Assim, a reciclagem de pavimentos asfálticos colabora para o decréscimo da exploração de reservas minerais, sendo até mesmo a fonte principal de agregados, em alguns países (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Visando a preservação do meio ambiente, é possível criar um campo de estudo sobre técnicas de reciclagem de pavimentos como método para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias (SANTOS; DEMUELENAERE, 2018).

Nessa conjuntura, o presente trabalho discorre sobre as vantagens econômicas e ambientais decorrentes da reciclagem no procedimento de recuperação da malha asfaltada e a eficiência da mesma mediante à exposição de coleta de dados em

campo, em pavimentos asfálticos estaduais e municipais.

A seguir, apresentam-se o referencial teórico, os objetivos propostos, procedimentos metodológicos aplicados no presente estudo, os resultados e discussão com base nos dados obtidos e as conclusões. Por fim, destacam-se as referências que fundamentaram todo o trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo Geral**

Evidenciar a importância da técnica de reciclagem na recuperação do pavimento rodoviário por meio da eficiência técnica quanto aos aspectos econômicos e sustentáveis.

1.1.2 **Objetivos Específicos**

- Apontar as diferenças econômicas entre os pavimentos rodoviário reciclado e o convencional;
- Avaliar os índices que influenciam na escolha técnica entre o pavimento rodoviário reciclado e o convencional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico consiste no preâmbulo de pavimentos asfálticos, recuperação rodoviária e reciclagem rodoviária, possibilitando uma investigação técnica detalhada e fundamentada em diversos artigos, monografias, livros e documentações técnicas.

2.1 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços provenientes do tráfego e do clima, e a propiciar melhores condições aos usuários (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Nesse contexto, cabe frisar que o transporte rodoviário é o sistema de transportes predominante no Brasil e para que o mesmo funcione adequadamente, necessita de uma ampla estrutura de pavimentos rodoviários. Acerca disso, existem três tipos de pavimentos: Pavimento rígido, pavimento semirrígido e pavimento flexível (FILHO; ROCHA, 2018).

Pavimentos flexíveis são compostos por camada superficial asfáltica, no caso o revestimento, apoiada sobre as demais camadas do pavimento: base, sub-base, reforço do subleito quando necessário (HILÁRIO, 2016).

Pavimentos rígidos são compostos por uma camada de concreto, geralmente em placas e dependendo da solicitação, podendo haver armação ou não (HILÁRIO, 2016).

Para Bernucci *et al.* (2008), pavimentos semirrígidos são aqueles com revestimentos asfálticos que possuam em sua base ou sub-base materiais cimentados, que também são solicitados à tração.

2.1.1 Pavimento Flexível

Os pavimentos flexíveis, foco do presente trabalho, possuem a característica de quando submetidos a deformações, até um certo limite, não rompem com

facilidade.

A seção transversal típica de um pavimento flexível é constituída de diversas camadas, sendo que distintas são as suas funcionalidades: subleito, regularização do subleito, reforço de subleito, sub-base, base e revestimento ou capa de rolamento.

Do ponto de vista de Senço (2007), cada camada do pavimento é constituída da seguinte maneira:

Subleito: É considerado como o terreno da fundação, já que apenas a camada com maior proximidade da superfície é classificada como subleito. Deverá apresentar características geométricas definitivas, caso a terraplenagem seja recente.

Regularização de subleito: É definida como uma camada que possui espessura irregular, posicionada acima do subleito e destinada a conformá-lo, transversal e longitudinalmente, com o projeto. Proporciona à superfície as características geométricas do pavimento acabado.

Reforço de subleito: Camada construída acima da regularização, se necessário. Possui funções de complemento da sub-base, assim também resiste e distribui esforços verticais, não tendo características de absorver definitivamente esses esforços. Sendo assim, o reforço de subleito poderia ser considerado indistintamente camada suplementar do subleito ou camada complementar da sub-base.

Sub-base: Camada complementar a base, quando não for aconselhável construir a base sobre a regularização ou reforço do subleito. De forma geral, o material constituinte da sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material de reforço; por sua vez, o material da base deverá ser de melhor qualidade que o material da sub-base.

Base: Camada destinada a resistir aos esforços verticais decorrentes do tráfego e distribuí-los. De outra perspectiva, pode-se considerar o pavimento com a composição de base e revestimento, sendo que a complementação da base poderá ou não ser constituída pela sub-base e pelo reforço do subleito.

Revestimento ou Capa de Rolamento: Camada impermeável, capaz de receber de forma direta a ação do tráfego e designada a aprimorar a superfície de rolamento em relação às condições de conforto e segurança, além de possuir resistência ao desgaste, possibilitando o aumento da durabilidade da estrutura (SENÇO, 2007, p. 15-22).

2.2 RECUPERAÇÃO RODOVIÁRIA

Conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), a recuperação se materializa através da execução de intervenções físicas na rodovia intituladas de Restauração do Pavimento e/ou Reabilitação do Pavimento.

Na pavimentação asfáltica, particularmente na pavimentação rodoviária, considera-se que a vida útil representa o período máximo suportado pelo mesmo, sem que apresente manifestações patológicas consideráveis.

A má qualidade executiva tem catalisado o aumento das manifestações

patológicas, gerando aspectos econômicos ou desconfortos e insegurança dos usuários. As manifestações de patologias mais comuns encontradas na malha rodoviária são: Fissuras, trincas, afundamento de trilha de roda, ondulação, deslizamentos, exsudação, buracos e desgaste (MELO; CANCIAN, 2018, p. 7).

Devido à importância econômica, social, política, ambiental e cultural exercida pelas rodovias, a gestão da manutenção deve ser competente (CUNHA, 2010).

Os pavimentos rodoviários se deterioram devido à ação do tráfego e das intempéries, surgindo a demanda de recuperá-lo ou reabilitá-lo (BRUGNOLI et al, 2018, p. 2).

O pavimento é uma estrutura destinada a resistir aos esforços gerados pelo tráfego. Mas, ao passar do tempo e pela carga excessiva sobre a pista, ou ainda pelas condições não satisfatórias da base da estrada, começam a surgir imperfeições ao longo do pavimento, necessitando de manutenção (BATISTA, 2016, p. 1).

Brugnoli *et al.* (2018), afirma que a finalidade da reciclagem é a reutilização do material que foi extraído da pista, evitando a exploração de reservas minerais, a nova camada pode ser composta por material reciclado.

2.3 RECICLAGEM EM RODOVIAS

No Brasil, a primeira aplicação da reciclagem ocorreu na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1960, sendo o material asfáltico removido através de marteletes (PINTO 1989, p. 37, apud TEIXEIRA e MEIRA, 2018, p.35).

Segundo Hilário (2016), o procedimento da reciclagem diminui consideravelmente o consumo de energia, preservando o meio ambiente, além de reduzir também, o consumo de matéria-prima.

A reciclagem de pavimentos oferece inúmeras vantagens em relação à utilização convencional de novos materiais, entre eles podem ser citados os seguintes (DNER, 1998, p.129):

- i. Conservação de agregados, de ligantes e de energia;
- ii. Preservação do meio ambiente;
- iii. Manutenção das condições geométricas existentes.

O reaproveitamento dos agregados do pavimento deteriorado para os serviços de reconstrução, restauração e conservação propicia uma

diminuição da demanda de novos materiais, prolongando o tempo de exploração das ocorrências existentes (DNER, 1998, p.129).

A camada de asfalto, no decorrer da sua utilização, perde diversas propriedades oriundas de fatores como oxidação e volatilização. As mesmas são restauradas através da combinação de elementos, podendo ser um novo asfalto ou agente rejuvenescedor (DNER, 1998).

O processo de reciclagem é responsável pela redução da utilização de novos materiais, sendo que, essa reutilização gera percentuais de adição de apenas 1% a 3% de asfalto. Entretanto, a ausência do desse processo, solicita uma adição de 6% de asfalto (DNER, 1998).

Atualmente, existem diversas técnicas de reciclagem de pavimentos. De uma forma geral, podem ser classificadas como a frio ou a quente, com processamento em usina ou in situ (BATISTA, 2016, p. 16), os quais estão circunstanciados no tópico 2.3.

2.3.1 Tipos de Reciclagem para Pavimentos Flexíveis

Distintos são os procedimentos de realização da reciclagem. Bonfim (1999, apud GUSMÃO, 2008, p. 29), classifica os tipos de reciclagem conforme apresentado no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Tipos de reciclagem

Quanto ao local de processamento	Em usina	A frio	Usina Móvel
		A quente	Usina Fixa
	"In situ"	A frio	Espuma Asfáltica
			Espuma de Asfalto
		A quente	Cimento Portland
Procedimentos de reciclagem quanto a profundidade de corte	Superficial		Somente da camada de revestimento
	Profunda		Camada de revestimento, base e até sub-base

Fonte: Bonfim (1999, apud GUSMÃO, 2008, p. 29).

Oliveira (2019), descreve os tipos de reciclagem da seguinte maneira:

- **RECICLAGEM A FRIO EM USINA:** O processo construtivo se dá através de um circuito fechado onde os materiais fresados são classificados por um conjunto de peneiras e os rejeitos transferidos para um britador de impacto até que 100% desses materiais estejam enquadrados nos limites de projeto. Em comparação a uma usina de solos convencional, esta usina de reciclagem a frio dosa de maneira extremamente precisa os insumos recebidos para a produção da mistura a frio.

- **RECICLAGEM A FRIO IN SITU (NO LOCAL):** Este processo requer a utilização de um equipamento específico, a Recicladora de Asfalto, que possui um cilindro especial para corte e trituração não somente da camada asfáltica como também para a camada de base granular abaixo. As vantagens da reciclagem a frio no local incluem tratamento estrutural significativo da maioria dos problemas de pavimentação, melhoria da qualidade da condução, problemas de arraste e qualidade de ar mínimos e capacidade de ampliação do pavimento.
- **RECICLAGEM A QUENTE EM USINA:** A reciclagem a quente de misturas asfálticas é o processo no qual os materiais de pavimento asfáltico recuperado (RAP – Reclaimed Asphalt Pavement: é o produto da remoção e trituração das camadas asfálticas deterioradas, que podem ser reutilizadas para a elaboração de novas estradas); são combinados com novos agregados, material de enchimento, cimento asfáltico de petróleo (CAP) e se necessário, um agente rejuvenescedor, para produzir misturas asfálticas a quente.
- **RECICLAGEM A QUENTE IN SITU (NO LOCAL):** A reciclagem a quente no local consiste em um método no qual o pavimento existente é aquecido, e depois escarificado/moído a uma profundidade especificada. A reciclagem a quente in situ é uma técnica que proporciona maior consumo energético porque exige o uso de mais equipamento do que os outros métodos. Apresenta inúmeras vantagens como, por exemplo, economia de energia e tempo, além de ser notória a sustentabilidade comparada a exploração de jazidas e em relação a execução com a distância de transportes.
- **RECICLAGEM PROFUNDA:** Recuperação de profundidade total é método de reciclagem onde toda a seção do pavimento de asfalto e uma quantidade predeterminada de material de base subjacente; essa técnica é utilizada para restabelecer a capacidade estrutural de pavimentos deteriorados. É basicamente um processo de reciclagem a frio, no qual diferentes tipos de aditivos, como emulsões asfálticas e agentes químicos, como cloreto de cálcio, cimento Portland, cinza volante e cal, são adicionados para obter uma base melhorada (OLIVEIRA, 2019, p. 10-22).

Bonfim (1999, apud GUSMÃO, 2008, p. 29), também ordena uma classificação de reciclagem para pavimentos flexíveis com distintas especificações, assim como se observa no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação da reciclagem

Especificação	Tipo	Nota
Quanto a geometria	Sem modificação	Quando se mantém as cotas do greide
	Com modificação	
Quanto ao local de processamento	Em usina	Fixa ou móvel, a quente ou a frio
	“In situ”	
	“In situ” com usinado	Reciclagem “in situ” da base e aplicação de material reciclado a quente, processado em usina com material fresado
Quanto à profundidade do corte	Superficial	Somente a camada de revestimento
	Profunda	Camada de revestimento, base e até sub-base
Quanto à mistura reciclada	Mistura a Frio	PMF
	Mistura a Quente	CAUQ, PMQ

Continua

Especificação	Tipo	Nota
Quanto ao uso da mistura	Como base reciclada	
	Como camada de ligação	
	Como revestimento	
Quanto aos materiais adicionados	Agregados	Correção granulométrica
	Cimento Portland	Aumento da capacidade estrutural
	Emulsão asfáltica, CAP, Polímeros	Rejuvenescimento
	Mistura asfáltica	Adição de material fresado

Fonte: Bonfim (1999, apud GUSMÃO, 2008, p. 29).

2.4 RECICLAGEM EM RODOVIAS SERGIPANAS

As rodovias sergipanas estaduais são executadas pelo Departamento Estadual de Infraestrutura Rodoviária de Sergipe (DER-SE) que por conseguinte é vinculado à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade (SERDURBS). A missão do DER-SE é dotar o Estado de uma infraestrutura rodoviária condizente com as reais necessidades de funcionamento do sistema estadual de transportes de passageiros e de cargas em qualquer época do ano, visando o bem-estar das comunidades sergipanas e o desenvolvimento socioeconômico do Estado de Sergipe. O DER-SE atua nas rodovias estaduais e no apoio aos municípios em suas malhas viárias (DER-SE, 2020).

Assim sendo, além do procedimento de implantação asfáltica, o departamento também realiza a recuperação das rodovias degradadas. Desse modo, o órgão adota os seguintes procedimentos:

2.4.1 Procedimento para Reciclagem do Revestimento Asfáltico com Incorporação de Brita Comercial à Base

2.3.1 O agregado adicional deve ser espalhado na quantidade determinada, a fim de atender a porcentagem determinada no projeto da mistura, com emprego de distribuidor de agregados.

2.3.2 A reciclagem do pavimento deve ser executada na extensão e espessura de corte indicada no projeto, incorporando-se simultaneamente o agregado adicional, com a concomitante adição de água, nas quantidades fixadas pelo projeto de dosagem, tendo como parâmetro para umedecimento a umidade ótima definida no ensaio de compactação da mistura reciclada.

2.3.3 Imediatamente após atuação da recicladora, atua a motoniveladora, de modo a conformar a camada reciclada aos perfis transversais e longitudinais de projeto, sem provocar segregação da mistura reciclada.

2.3.4 Para a execução de juntas longitudinais entre cortes adjacentes recomenda-se uma sobreposição mínima de 15 cm entre as passadas da recicladora. Deve-se tomar cuidado para não aplicar água para compactação

na largura de sobreposição, conforme recomendações contidas na Especificação de Serviço DNIT 167/2013 – ES.

2.3.5 O Equipamento, a execução e o controle serão realizados conforme recomendações contidas na Especificação de Serviço DNIT 167/2013 – ES, com a ressalva para a não utilização de cimento Portland (DER, s.d).

Todavia, é importante salientar que se faz necessário um estudo preliminar sobre o processo de reciclagem, já que são específicas as circunstâncias em que o pavimento deve estar configurado para a utilização desse procedimento, as quais são: Com fendilhamento por fadiga nas camadas betuminosas; deformações derivadas nas camadas betuminosas, causadas pelas condições térmicas e pavimento com avançado estágio de degradação. Além disso, existem situações singulares em que o pavimento não poderá ser reciclado, podendo destacar as situações no qual o pavimento apresenta problemas de drenagem ou de fundação (CUNHA, 2010).

Posto isso, o Departamento possui uma metodologia específica para reciclagem de pavimentos asfálticos baseada na Especificação de Serviço DNIT 167/2013 – ES, com o propósito de padronizar a técnica do procedimento e assegurar a qualidade.

3 METODOLOGIA

Segundo Gonsalves (2018, p. 20), “a metodologia é um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos que devem ser aplicados na investigação tencionando atingir os objetivos da pesquisa”.

Neste capítulo, descreve-se os procedimentos metodológicos empregados no estudo, ou seja, demonstram-se as técnicas, instrumentais e procedimentos que contribuirão para o alcance dos objetivos traçados que são apoiados por citações de autores acerca do conteúdo explanado.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Lakatos; Marconi (2017) e Fonseca (2012) as pesquisas são atividades direcionadas à resolução de problemas e são determinadas quanto aos objetivos, aos meios e à abordagem dos dados.

No tocante à natureza da pesquisa, trata-se de um estudo aplicado que apresenta uma abordagem quantitativa e descritiva.

Em relação aos procedimentos metodológicos, o presente estudo aplicou a coleta de dados em campo associada à uma pesquisa bibliográfica e documental. Inicialmente, realizou-se a coleta de dados em campo junto a entidades governamentais e municipais especializadas: no Departamento Estadual de Infraestrutura Rodoviária de Sergipe (DER-SE), obteve-se planilhas orçamentárias, bem como, planilhas de resultados obtidos em laboratórios acerca do pavimento asfáltico rodoviário e na Empresa Municipal de Obras e Urbanização de Aracaju (EMURB), coletou-se resultados obtidos em laboratórios referentes ao pavimento asfáltico urbano apresentado no estudo.

Em complemento, empregou-se como método de coleta de dados, a investigação bibliográfica, que foi realizada mediante levantamento de dados em livros, dissertações, normas e regulamentos.

No que diz respeito ao universo e amostra da pesquisa, delimitou-se como universo da pesquisa, os municípios de Aracaju e São Cristóvão. Já a amostra, foi composta pela Rodovia SE-065 situada em São Cristóvão e a Rua A, no Loteamento Joel Nascimento, conjunto Bugio, localizada em Aracaju.

Cabe frisar que esses pavimentos foram selecionados em decorrência da disponibilidade de dados relativos ao procedimento de recuperação asfáltica e da viabilidade da coleta dos mesmos nos órgãos citados.

3.1.1 Pesquisa bibliográfica

Os ensaios evidentes nos tópicos contidos nos resultados desse trabalho, foram realizados pela equipe técnica dos órgãos citados e foram imprescindíveis para caracterização de todas as camadas da rodovia e do pavimento asfáltico urbano. Assim sendo, podemos destacar as normas regulamentadoras de cada ensaio e os seus objetivos principais:

- Granulometria

O ensaio de granulometria tem por objetivo determinar proporções, em percentagens relativas ao peso total da amostra, de grupos de dimensões específicas. As normas regulamentadoras consideradas no estudo desse trabalho referem-se à DNER-ME 080/94, para camada de base e sub-base, e DNER-ME 083/98 para camada de concreto asfáltico.

No pavimento asfáltico, a análise granulométrica do agregado interfere uma grande parte das suas propriedades essenciais, podendo destacar a rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente etc (BERNUCCI *et al.*, 2008).

À vista disso, a análise granulométrica possibilita o levantamento de informações que geram uma curva de distribuição granulométrica, viabilizando o estudo de diversas características do solo ou da camada asfáltica, sendo o foco principal na classificação do solo ou de agregados. Os ensaios realizados através das normas DNER-ME 080/94 e DNER-ME 083/98 foram feitos através de peneiramento.

- Limite de Liquidez

O limite de liquidez é regulamentado pela norma DNER-ME 122/94 e segundo a mesma, é definido como teor de umidade do solo com o qual se unem, em um

centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canulera feita em uma massa de solo colocada na concha de um aparelho normatizado (Casagrande) sob ação de 25 golpes. De forma abrangente, o mesmo pode ser estabelecido como a mudança do estado plástico ao estado líquido. (DNER-ME 122/94).

No caso do parâmetro do limite de liquidez resultar em “NL” é decorrente da ausência de abertura de uma canelura ou ranhura na massa de solo existente durante o ensaio, dessa maneira, a amostra não apresentará limite de liquidez. O resultado poderá ser obtido através de análise gráfica, como também através da equação:

$$LL = h \frac{n}{25} 0,156$$

Sendo,

h – teor de umidade (%), corresponde ao N de golpes;

N – Número de golpes na determinação de um ponto do ensaio;

LL – Limite de liquidez (%)

Figura 1 – Ensaio do Limite de Liquidez



Fonte: Suporte Solos (2017)

A Figura 1 indica a demonstração do ensaio de limite de liquidez utilizando-se o aparelho de Casagrande que, possibilita a indicação do menor teor e umidade com que uma amostra de solos pode dissipar-se (SUPORTE SOLOS, 2017).

- Limite de plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)

Dado em percentagem, o limite de plasticidade possui propriedade de estabelecer um valor, em função da massa da amostra, de adição de água máxima de

maneira que o solo mantenha sua consistência plástica. Assim sendo, o Índice de Plasticidade é um parâmetro que possibilita a determinação da trabalhabilidade de um solo.

O ensaio de Plasticidade é uma determinação de extrema importância para o pavimento asfáltico, uma vez que a mesma compromete propriedades como trabalhabilidade, expansibilidade e resistência dos solos, ou seja, quanto menor a plasticidade, melhor será a trabalhabilidade, menor a expansibilidade e maior a resistência (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Em conformidade com o DNER-ME 082/94, o índice de plasticidade é obtido a partir de:

1. Diferença numérica entre o limite de plasticidade e o limite de liquidez;
2. Quando o limite de liquidez ou limite de plasticidade não puderem ser determinados, adota-se o índice de plasticidade como NP (não plástico).
3. Quando o solo for extremamente arenoso, o ensaio de limite de plasticidade deve ser feito antes do ensaio do limite de liquidez. Se o limite de plasticidade não puder ser determinado, adotar ambos como NP (não plástico).
4. Quando o limite de plasticidade for maior ou igual ao limite de liquidez, adotar o índice de plasticidade como NP (não plástico).

- Índice de Grupo

O Índice de Grupo (IG) estabelece a capacidade de suporte de um solo de fundação. Segundo Floriano (2016), o IG participa da determinação da classificação do TBR (*Transportation Research Board*) da AASHO (*American Association of State Highway Transportation Officials*) e pode variar de 0 a 20, sendo IG = 0 para solos ótimos e IG = 20 para solos péssimos.

Ainda em concordância com Floriano (2016), a determinação do IG é baseada nos limites de Atterberg (LL e IP) do solo e do material retido na peneira de nº 200 (0,075 mm), sendo definido através da expressão:

$$IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$$

$$a = Pp_{200} - 35\% \cdot (0 - 40)$$

$$b = Pp_{200} - 15\% \cdot (0 - 40)$$

Sendo:

- a – Porcentagem passante de solo na peneira de número 200 menos 35%. Caso o valor seja negativo, adota-se zero como resultado e caso seja superior a 40, adota-se 40 como o limite máximo.
- b – Porcentagem passante de solo na peneira de número 200 menos 15%. Caso o valor seja negativo, adota-se zero como resultado e caso seja superior a 40, adota-se 40 como o limite máximo.
- c – Resultado da subtração do limite de liquidez menos 40%. Caso o valor seja negativo, adota-se zero como resultado e caso seja superior a 20, adota-se 20 como o limite máximo.
- d – Resultado da subtração do limite de plasticidade menos 10%. Caso o valor seja negativo, adota-se zero como resultado e caso seja superior a 20, adota-se 20 como o limite máximo.

Assim sendo, o ensaio resulta na determinação da porcentagem de finos e auxilia no dimensionamento das camadas do pavimento, uma vez que o mesmo auxilia na classificação (TRB) do solo dentro de um determinado grupo, sendo os solos mais adequados para pavimentação aqueles que apresentam menor índice de grupo (SANTOS, 2006).

- Classificação T.R.B

A classificação T.R.B (*Transportation Research Board*), anteriormente era denominada de H.R.B, é uma classificação americana utilizada no Brasil e no mundo que segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), é definida a partir da reunião em grupos e subgrupos, em função da sua granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade e índice de grupo. No manual referenciado, tem-se o Quadro 3 para a determinação dessa classificação, que deve ser analisada por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. O primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidir, será a classificação correta.

Quadro 3 – Classificação dos solos por TRB (Transportation Research Board)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT (2006)

Assim sendo, a classificação T.R.B auxilia na classificação geral de um solo, identificando a sua predominância em materiais granulares ou siltosos/argilosos, como também, a classificação do mesmo quanto ao comportamento como subleito, contribuindo para um estudo preliminar da recuperação de um pavimento (SANTOS, 2006).

- Compactação, Massa específica e Umidade Ótima

Em consonância com o DNER-ME 162/94 (1994), o qual aborda a respeito do ensaio de compactação de amostras trabalhadas, o mesmo tem o principal objetivo de estabelecer uma correlação entre o teor de umidade e a massa específica do solo seco, no caso da fração do solo que passa pela peneira de número 19 mm é compactada com energia de compactação diferente.

Também é possível determinar a massa específica e a umidade de cada camada para comparar com as condições de umidade ótima e massa específica máxima dos ensaios de compactação, e assim, avaliar eventuais excessos de umidade ou deficiência de grau de compactação (BERNUCCI *et*

al., 2008, p. 443).

O ensaio de compactação é responsável pela determinação da Massa específica aparente máxima do solo seco e Umidade ótima e de acordo com o DNER-ME 162/94 (1994) existem três tipos de energia de compactação: normal (12 golpes por camada), intermediário (26 golpes por camada) e modificada (55 golpes por camada). Desse modo, a energia de compactação utilizada nos ensaios aqui expostos foi a intermediária.

Os resultados dos ensaios são determinados por:

1. Inicialmente é elaborada uma curva de compactação, com os teores de umidade representados no eixo das abscissas e as massa específicas aparentes do solo seco no eixo das ordenadas.
2. A partir do gráfico disposto é determinada a massa específica aparente máxima do solo seco pela ordenada máxima da curva de compactação.
3. A umidade ótima é correspondente ao ponto máximo da abscissa da massa específica aparente máxima do solo seco refletido no eixo das ordenadas.

Desse modo, o ensaio de compactação de um pavimento asfáltico, que estabelece determinações como massa específica e umidade ótima, influencia no aumento da estabilidade da mistura asfáltica, na redução do índice de vazios e quando adequada, assegura uma superfície suave e desempenada, como também, aumenta a vida útil do pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

- ISC (Índice de Suporte Califórnia de Solos) e Expansão

O Índice de Suporte Califórnia de Solos (ISC) é um ensaio oriundo do Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia (EUA), de 1929, com o objetivo de auxiliar no dimensionamento de pavimentos asfálticos. O mesmo é regulamentado no Brasil pela norma DNIT 172/2016 – ME (2016), de acordo com norma citada também é possível determinar a expansão a partir do ensaio do ISC, os quais são expansões ocorridas e analisadas de 24 em 24 horas, em porcentagens da altura inicial do corpo de prova.

O ISC é expresso em porcentagem, sendo definido como a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo ou material granular e a pressão necessária para produzir a mesma penetração no material padrão referencial (BERNUCCI *et al.*, 2008, p.

342).

O resultado do ensaio de expansão é determinado a partir do ordenamento de dados como expresso no Quadro 4.

Quadro 4 – Cálculo da expansão

Data	Hora	Tempo decorrido min.	Molde nº		
			Leituras no extensômetro Mm	Diferenças de leituras no extensômetro mm	Expansão %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

Fonte: DNIT 172/2016 – ME (2016)

Sendo em conformidade com a DNIT 172/2016 – ME (2016):

Coluna 1 – data do início do ensaio;

Coluna 2 – hora das leituras efetuadas no extensômetro;

Coluna 3 – tempo decorrido entre as leituras do extensômetro, que devem ser de 24 em 24 horas; Coluna 4 – leituras no extensômetro;

Coluna 5 – diferença das leituras efetuadas de 24 em 24 horas;

Coluna 6 – percentagem de expansão relativa à altura inicial do corpo de prova.

A equação que determina a expansão é determinada por:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro} \times 100}{\text{altura inicial do corpo de prova}}$$

O resultado do ensaio de Índice de Suporte Califórnia de Solos (ISC) é determinado por:

Leitura de cada corpo de prova do ensaio e o preenchimento das informações conforme demonstrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Cálculo do ISC

Tempo min (1)	Penetração (2)		Pressão padrão kgf/cm ² (3)	Molde n°			(7) ISC %
	mm	pol.		Leituras no extensômetro mm (4)	Pressão		
					Calculada kgf/cm ² (5)	Corrigida kgf/cm ² (6)	
0,5	0,63	0,025	-				
1,0	1,27	0,050	-				
1,5	1,90	0,075	-				
2,0	2,54	0,100	70,31				
3,0	3,81	0,150	-				
4,0	5,08	0,200	105,46				
6,0	7,62	0,300	131,58				
8,0	10,16	0,400	161,71				
10,0	12,7	0,500	182,80				

Fonte: DNIT 172/2016 – ME (2016)

Sendo em concordância com a DNIT 172/2016 – ME (2016):

As colunas apresentadas no Quadro 5 indicam:

Coluna 1 – tempo;

Coluna 2 – penetração ocorrida no tempo especificado;

Coluna 3 – pressão padrão, que é a correspondente a um determinado tipo de pedra britada que apresenta Índice de Suporte Califórnia de 100%;

Coluna 4 – leituras no extensômetro do anel;

Coluna 5 – pressão correspondente às leituras do anel no gráfico de aferição do mesmo;

Coluna 6 – pressão corrigida;

Coluna 7 – Índice de Suporte Califórnia (ISC).

A equação que determina o ISC é determinada por:

$$\text{ISC} = \frac{\text{Pressão calculada ou pressão corrigida} \times 100}{\text{pressão padrão}}$$

pressão padrão

Adotando-se o maior dos valores obtidos nas penetrações de 0,1 e 0,2

polegadas.

Determinação gráfica do Índice de Suporte Califórnia final:

Consoante o DNIT 172/2016 – ME (2016), o Índice de Suporte Califórnia pode ser determinado graficamente através da curva de compactação, de modo que realize os registros em escala adequada dos valores de ISC no eixo das ordenadas obtidos segundo a técnica de ensaio da norma aqui aludida. Dessa maneira, o valor da ordenada dessa curva, correspondente à umidade ótima antes determinada, fornece o Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Logo, a determinação do ISC é significativa para a recuperação asfáltica, uma vez que, esse índice é concebido para ponderar a resistência do material frente a deslocamentos significativos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

- Teor de Betume

O teor de betume é definido através da norma DNER-ME 053/94. Essa norma estabelece que o principal objetivo é a determinação da percentagem de betume extraído das misturas betuminosas, sendo que o ensaio é feito mediante um extrator centrífugo.

O resultado do teor de betume é obtido através da equação:

$$P = \frac{\text{Peso do betume extraído}}{\text{Peso da amostra total}} \times 100$$

Sendo P a percentagem de betume.

O ensaio de solubilidade que determina teor de betume é significativa para o processo de recuperação asfáltica, já que o mesmo define o grau de pureza do asfalto e conseqüentemente, essa determinação influenciará nas propriedades do pavimento asfáltico, tais como a permeabilidade (BERNUCCI *et al.*, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referem-se aos dados obtidos da coleta de dados realizada em órgãos públicos estadual e municipal, sendo o primeiro o Departamento Estadual de Infraestrutura Rodoviária de Sergipe e municipal a Empresa Municipal de Obras e Urbanização de Aracaju, com o objetivo de evidenciar dados de ensaios da caracterização dos pavimentos asfálticos rodoviário e urbano e o comparativo entre eles, com uma associação a parâmetros referentes às normas de especificação de serviço do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), as quais pode-se citar as especificações de serviço DNIT 141/2010 – ES e DNIT 031/2006 - ES.

4.1 COLETA DE DADOS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO RODOVIÁRIO

A seguir, demonstra-se uma exposição circunstanciada dos dados referentes ao processo reciclagem em recuperação de pavimento asfáltico rodoviário estadual sergipano, relativos a rodovia: SE- 065 (João Bebe Água), sendo esses dados evidenciados nas tabelas de números 1 a 10, dispostas nos apêndices do trabalho.

4.1.1 Dados Obtidos das Características e Classificações da Rodovia

Na tabela 1, tem-se a apresentação superficial da rodovia, exprimindo noções de suas características principais, tais como: identificação da sua sigla, aqui exposta como SE- 065; o ano da execução da recuperação; a extensão da mesma dada em quilômetros; dimensões como largura e acostamento; o trecho com a especificação da sua localização; a exposição do revestimento antecedente ao processo de recuperação, como também, o solo encontrado na base existente antiga, classificado por solo argilo-arenoso com pedregulho. Os dados como extensão, largura, acostamento, revestimento antigo e base antiga foram imprescindíveis para o estudo preliminar do projeto de recuperação rodoviária, já que evidenciam noções da geometria da rodovia, tipo do revestimento asfáltico e classificação do solo existente.

Tabela 1 – Informações gerais pertinentes à rodovia

RODOVIA	EXE CUÇ ÃO	EXTEN SÃO	LARGU RA	ACOSTA MENTO	TRECHO	REVESTI MENTO ANTIGO	BASE ANTIGA
SE 065	2020	13 Km	6,0 m	1,0 m	Conj. Bridageiro Eduardo Gomes/São Cristóvão	C. B. U. Q.	Solo argilo-arenoso c/ pedregulho

Fonte: A autora (2022)

Tabela 2 – Classificação da reciclagem da Rodovia SE-065

Quanto ao local de processamento	Quanto à profundidade de corte	Quanto à geometria	Quanto à mistura reciclada	Quanto ao uso da mistura	Quanto aos materiais adicionados
In situ	Profunda	Sem modificação	A frio	Camada de Base	Agregados e mistura asfáltica

Fonte: A autora (2022)

A Tabela 2, indica a classificação quanto à reciclagem executada na Rodovia SE-065, com diversas determinações, tais como: local de processamento, profundidade de corte, geometria, mistura reciclada, uso da mistura e quanto aos materiais adicionados, que por sua vez estão conceituados no item 2.3.1 deste trabalho.

4.1.2 Dados Obtidos dos Resultados Oriundos do Estudo da Base Existente

Diante da escolha da rodovia, e a partir da análise de suas características e classificações iniciais, realizou-se uma coleta de dados de ensaios da camada de base existente, executados pela equipe de laboratório do DER-SE. Dessa forma, os resultados de ensaios como Granulometria, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo, Classificação H.R.B, Dimensão máxima de agregados, Umidade Ótima, ISC e Expansão foram expostos na tabela 3 (Apêndice A).

Em vista da análise realizada, através dos ensaios, na camada de base existente, os laboratoristas do departamento obtiveram os seguintes projetos iniciais de adição de areia fina e brita corrida:

- Adicionar 15% de areia fina em todas as amostras com objetivo de diminuir a

plasticidade.

- Adicionar 25% de brita corrida da pedreira Rio das Pedras em todas as amostras com o objetivo de aumentar o suporte (C.B.R.).

4.1.3 Dados Obtidos das Características das Misturas da Base Existente com CBUQ Incorporado e Adição de Areia e Brita Corrida

Posto isto, foram realizados ensaios a posteriori do procedimento de mistura da base, já incorporada ao CBUQ oriundo do material reciclado, com a areia e brita corrida adicionada a percentuais, com o intuito de melhorar os resultados de plasticidade e CBR e conseqüentemente a expansão. Logo, os resultados de ensaios como Granulometria, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo, Classificação H.R.B, Dimensão máxima de agregados, Umidade Ótima, ISC e Expansão retirados das planilhas do setor da Divisão de Laboratórios do DER-SE podem ser visualizados na Tabela 4 (Apêndice B).

4.1.4 Dados Obtidos dos Resultados de Ensaios de Acompanhamento da Obra

Na Tabela 5 (Apêndice C), é possível observar dados coletados dos resultados obtidos de ensaios como Granulometria, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo, Classificação H.R.B, Dimensão máxima de agregados, Umidade Ótima, ISC e Expansão realizados em paralelo à execução da obra rodoviária de recuperação asfáltica da camada de base, utilizando o procedimento da reciclagem em pavimentos.

4.1.5 Dados Obtidos no Controle Tecnológico Realizado Posteriormente a Finalização da Obra Rodoviária

Os resultados coletados e demonstrados por meio da Tabela 6 (Apêndice C), são alusivos à SE 065 (Rodovia João Bebe Água) e obtidos em decorrência de uma coleta realizada pela equipe da divisão de laboratório no dia 19/05/2021 e ensaios como Granulometria e Solubilidade (Teor de Betume) executados nos dias 20 a 21/05/2021, nas estacas 200, 300 e 400 da pista direta, sendo as amostras de concreto betuminoso tipo C.A.U.Q, retiradas da camada de rolamento.

Por meio da Figura 2, pode-se observar o trabalho da equipe durante o processo de sondagem do pavimento para obtenção de amostras e posterior realização de ensaios do controle tecnológico.

Figura 2 – Sondagem para controle tecnológico



Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2021)

Já através da Figura 3, verifica-se o procedimento de medição da espessura do furo da sondagem e na Figura 4, constata-se o fechamento do furo realizado no pavimento.

Figura 3 – Medição da espessura



Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2021)

Figura 4 – Fechamento do furo

Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2021)

4.1.6 Dados Obtidos das Planilhas Orçamentárias da Rodovia SE-065

O levantamento de dados orçamentários referente à Rodovia SE-065, constituiu também resultados obtidos do trabalho, com o intuito de evidenciar a eficiência econômica da reciclagem de rodovias. A coleta de dados foi realizada no Departamento Estadual de Infraestrutura Rodoviária de Sergipe, através da Gerência de Projetos, que por sua vez, elaborou os seguintes orçamentos no ano de 2020. Foram elaborados dois orçamentos distintos, com o intuito de analisar o custo de uma recuperação que considerasse o aproveitamento ou não do material retirado através da reciclagem, destacando que o orçamento escolhido para a execução foi o da utilização da reciclagem para recuperação.

Nas tabelas 7 e 8 (Apêndice E), é possível evidenciar a precificação da recuperação da SE-065 através da fresagem, sem o reaproveitamento do material, já nas tabelas 9 e 10 (Apêndice E) fica explícito o orçamento da mesma rodovia, entretanto, com recuperação por reciclagem.

A descrição do item 2.8 (pavimentação) das Tabelas 7 e 9 está exposta de forma detalhada nas tabelas 8 e 10, respectivamente. Visto que o principal objetivo é evidenciar a eficiência econômica e sustentável na fase da pavimentação, como também é possível identificar que os tópicos 2.8.1, 2.8.2, 2.8.3 e 2.8.7 de pavimentação nas duas tabelas apresentam composições de itens diferentes, já que

a primeira trata-se de uma recuperação por fresagem e a segunda, de recuperação por reciclagem.

4.2 COLETA DE DADOS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO URBANO

O presente item dispõe de resultados da coleta de dados relativa aos ensaios de uma recuperação asfáltica urbana, realizada pela Empresa Municipal de Obras e Urbanização de Aracaju (EMURB), na rua A do Loteamento Joel Nascimento, no Bairro Bugio, em Aracaju-SE. O procedimento da recuperação, constitui-se da retirada da camada existente e implantação de um novo pavimento asfáltico.

4.2.1 **Dados Obtidos Mediante Ensaios de Estudo da Base**

Os dados obtidos na Tabela 11 (Apêndice D), são referentes aos resultados de ensaios como Granulometria, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo, Classificação H.R.B, Dimensão máxima de agregados, Umidade Ótima, ISC e Expansão realizados na Rua A, no Loteamento Joel Nascimento, Bairro Bugio, com o intuito de explorar características técnicas da base.

4.2.2 **Dados Obtidos Mediante Ensaios da Camada Asfáltica**

A Tabela 12 (Apêndice D), compreende o boletim de sondagem referente aos resultados de ensaios como Granulometria e Solubilidade (Teor de Betume) da nova camada asfáltica implantada no processo de recuperação asfáltica da Rua A.

4.3 RODOVIA SE-065 – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE BASE

Em concordância com o DNIT 141/2010 – ES (2010) e o Manual de Pavimentação – DNIT (2006), existem alguns parâmetros a serem considerados nos resultados, com intuito de assegurar a qualidade do pavimento. Assim sendo, a partir da análise dos resultados expostos nas Tabelas 3, 4 e 5 dispostas nos Apêndices A, B e C, respectivamente, pode-se constatar:

4.3.1 Resultados e Discussão da Análise do Estudo da Base Existente em Comparação a Norma DNIT141/2010 – ES

Camada de base, parâmetros DNIT 141/2010 - ES:

Tabela 13 – Parâmetros do DNIT para ensaios da camada de base

ENSAIO	PARÂMETRO DNIT
CBR (ISC)	≥ 60%
Expansão	≤ 0,5 %
Limite de Liquidez	≤ 25 %
Índice de Plasticidade	≤ 0,6 %
Índice de Grupo	0 %
Granulometria	% passante da peneira N ^o 200 = 2/3 * % passante da peneira N ^o 40

Fonte: DNIT 141/2010 – ES (2010)

Em consonância com a DNIT 141/2010 – ES (2010), a granulometria deve seguir um parâmetro de acordo com o tipo da peneira e o número de tráfego (N), como mostra no Tabela 14.

Tabela 14 – Granulometria de acordo com DNIT 141/2010 – ES

Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
% em peso passando							
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	± 2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

Fonte: DNIT 141/2010 – ES (2010)

Média aritmética dos resultados obtidos dos ensaios da base existente:

- I. CBR (I.S.C) = 50,4 %
 - II. Expansão = 0,528 %
 - III. Limite de Liquidez = 21,8 %
 - IV. Índice de plasticidade = 6,6 %
 - V. Índice de grupo = 0 %
- Média aritmética do passante da peneira de nº 200 = 25,2%; Média do passante da peneira de nº 40 = 40,8%; Razão entre as porcentagens = 0,6176 (61,76%)

Considerando o $N = 8,5 \times 10^6 > 5 \times 10^6$ (Número de Tráfego de Projeto, metodologia USACE), tem-se os resultados apresentados na Tabela 15:

Tabela 15 – Análise granulométrica da camada de base existente

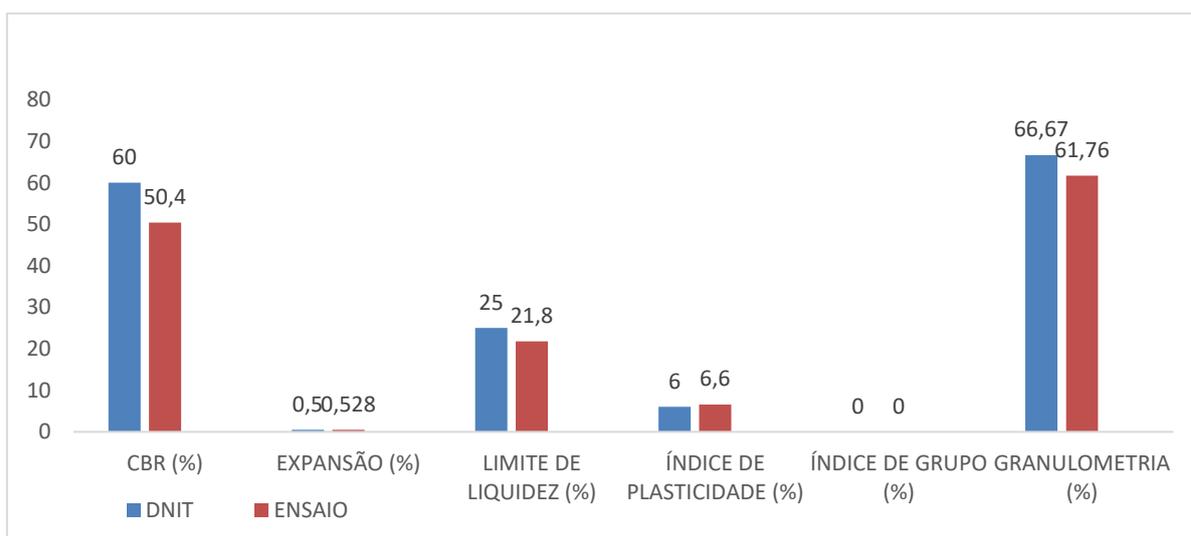
Granulometria peneira (% passando)	(MÉDIA)
–	
1";	96
3/8";	79
Nº4;	65
Nº10;	54,2
Nº40;	40,8
Nº200	25,2

Fonte: A autora (2022)

Os gráficos propositivos 1 e 2, retratam uma visualização geral de todos os resultados de ensaios da base existente da SE-065 com relação aos parâmetros

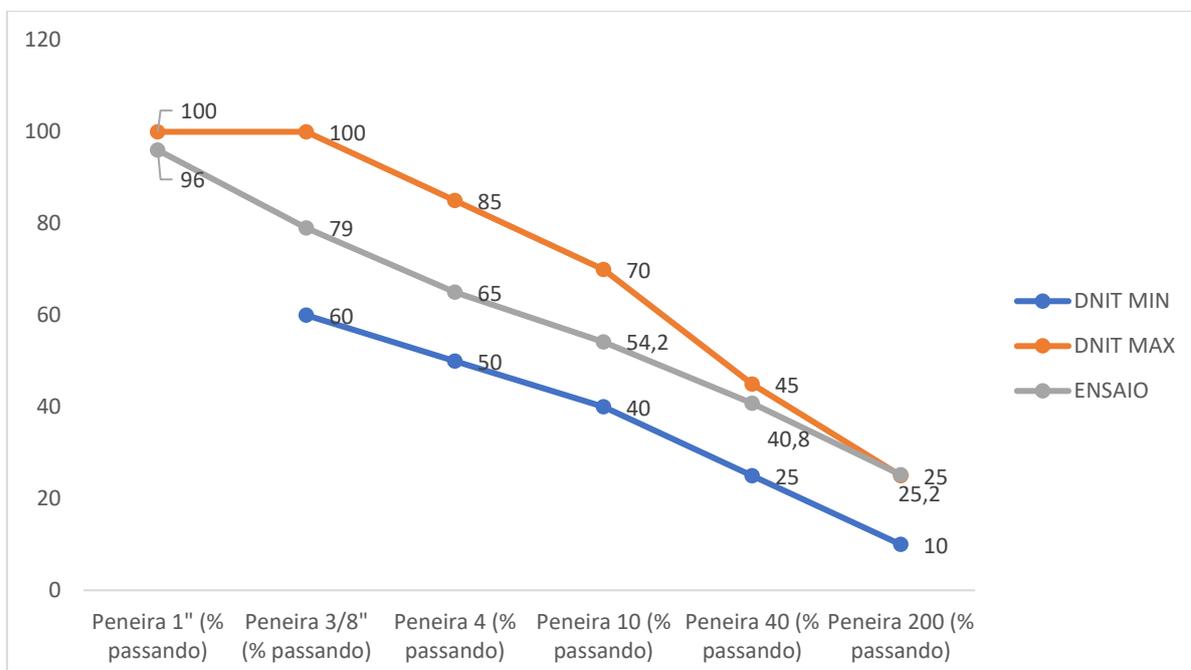
DNIT. Compreendendo o primeiro nos comparativos dos resultados de CRB, Expansão, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo e Parâmetro de Granulometria. Por outro lado, o segundo consiste na identificação da faixa granulométrica.

Gráfico 1 – Padrões DNIT X Resultados de Ensaio da base existente da SE-065



Fonte: A autora (2022)

Gráfico 2 – Granulometria – Padrões DNIT X Resultados de Ensaio da base existente da SE-065



Fonte: A autora (2022)

Diante dos resultados referidos na camada de base da Rodovia SE-065, pode-

se inferir que a camada de base existente apresenta determinados resultados dos ensaios com diferenças pertinentes ao padrão das faixas DNIT, os quais podemos citar o ISC (CBR), com uma diferença de - 9,6 % , o de Expansão com uma diferença de + 0,028 %, o Índice de plasticidade com uma diferença de + 0,6 %. Já determinações tais como Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo e Granulometria se adequam às faixas das normas, sendo a última classificada como Faixa Granulométrica D.

Vale ressaltar que, a última recuperação do pavimento foi no ano de 2009. Dessa maneira, o intemperismo físico foi primordial para que a camada de base existente apresentasse resultados discrepantes com relação às faixas das normas do DNIT, sendo importante salientar que todos os parâmetros foram alinhados com a mistura, como resultado final dessa camada de base os referidos nas Tabelas 4 e 5 (Apêndices B e C). Essas desconformidades comprometem a qualidade do pavimento em diversos pontos, podendo destacar a diferença considerável apresentada no ISC (CBR), uma vez que, o mesmo avalia e classifica a resistência quanto à ruptura do pavimento, sendo que quanto mais próximo de 100% o seu valor, apresentará um comportamento melhor quanto a resistência à ruptura.

Assim sendo, pode-se destacar também o comprometimento do pavimento devido ao desvio do percentual apresentado no resultado da expansão, uma vez que essa determinação define o comportamento do solo quando solicitado, sendo as deformações do solo proporcionais ao aumento da expansão e evidenciando uma inversão proporcional do aumento do ISC (CBR) com a redução da expansão axial.

De outro lado, discorrendo sobre o índice de plasticidade, também ocorre uma restrição quanto ao uso rodoviário caso o resultado não seja adequado às normas DNIT, já que o aumento da plasticidade é proporcional ao aumento da deformabilidade e da expansão volumétrica em presença de água, consequentemente causando uma diminuição na resistência.

4.3.2 Resultados e Discussão da Análise das Características das Misturas da Base Existente com CBUQ Incorporado com Adição de Areia e Brita Corrida em Comparação à Norma DNIT 141/2010 – ES

Os parâmetros adotados para a análise do referido tópico, relacionado a

camada de base com adição de misturas, foram considerados de acordo com a Tabela 13, dada anteriormente.

De acordo com a DNIT 141/2010 – ES (2010), a granulometria tem um parâmetro a ser seguido e uma faixa a ser determinada, a partir do número de tráfego e dos resultados obtidos da porcentagem passante, explicitado na Tabela 14 dada anteriormente.

Média dos resultados obtidos dos ensaios da base com adição:

- I. CBR (I.S.C) = 79 %
 - II. Expansão = 0,096 %
 - III. Limite de Liquidez = 19,6 %
 - IV. Índice de plasticidade = 3,4 %
 - V. Índice de grupo = 0 %
- I. Média do passante da peneira de nº 200 = 14,6%; Média do passante da peneira de nº 40 = 33,6%; Razão entre as porcentagens = 0,4345 (43,45%)

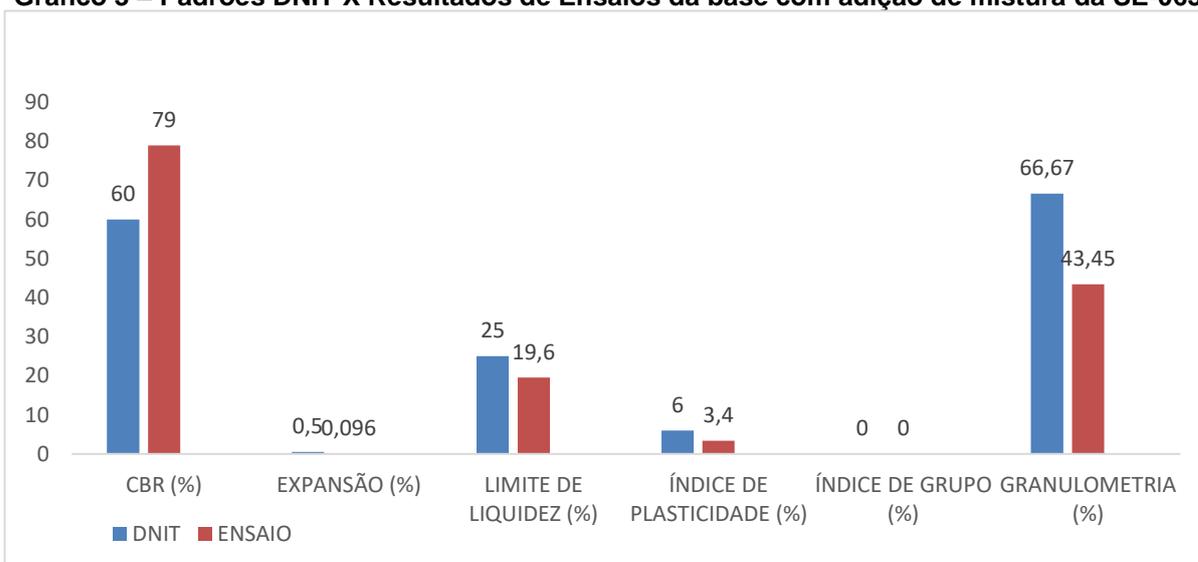
Considerando o $N = 8,5 \times 10^6 > 5 \times 10^6$ (Número de Tráfego de Projeto, metodologia USACE), é possível analisar a Tabela 16:

Tabela 16 – Análise granulométrica da camada de base com adição de mistura

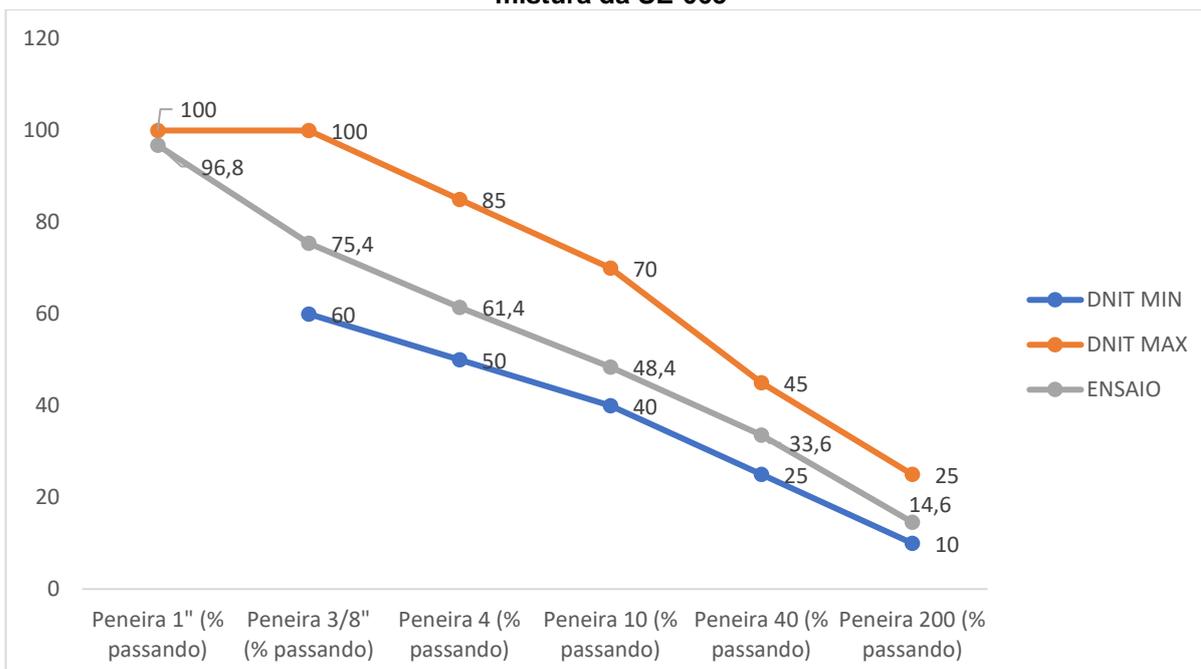
Granulometria peneira (% passando)	(MÉDIA)
–	
1”;	96,8
3/8”;	75,4
Nº4;	61,4
Nº10;	48,4
Nº40;	33,6
Nº200	14,6

Fonte: A autora (2022)

Os gráficos 3 e 4, exibem uma visualização geral de todos os resultados de ensaios da base com adição de mistura da SE-065 com relação aos parâmetros DNIT. Sendo demonstrado no Gráfico 3, os comparativos dos resultados de CRB, Expansão, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo e Parâmetro de Granulometria. De outra forma, o Gráfico 4 corresponde à identificação da faixa granulométrica.

Gráfico 3 – Padrões DNIT X Resultados de Ensaios da base com adição de mistura da SE-065

Fonte: A autora (2022)

Gráfico 4 – Granulometria - Padrões DNIT X Resultados de Ensaios da base com adição de mistura da SE-065

Fonte: A autora (2022)

No que se refere aos ensaios da camada de base com adição de mistura e do acompanhamento de obra nessa camada da Rodovia SE-065, destaca-se com os resultados expostos que os parâmetros das normas do DNIT referentes às especificações de serviço foram alcançados.

4.3.3 Resultados e discussão da Análise dos Dados Obtidos nos Ensaios de Acompanhamento da Obra na Camada de Base em Comparação a Norma DNIT 141/2010 – ES

Os parâmetros adotados para a análise do referido tópico, relacionado ao acompanhamento de obra da recuperação na camada de base, foram considerados de acordo com a Tabela 13, dada anteriormente.

De acordo com a DNIT 141/2010 – ES (2010) a granulometria tem um parâmetro a ser seguido e uma faixa a ser determinada, a partir do número de tráfego e dos resultados obtidos da porcentagem passante, explicitado no Tabela 14 dada anteriormente.

Média dos resultados obtidos dos ensaios de acompanhamento de obra da base:

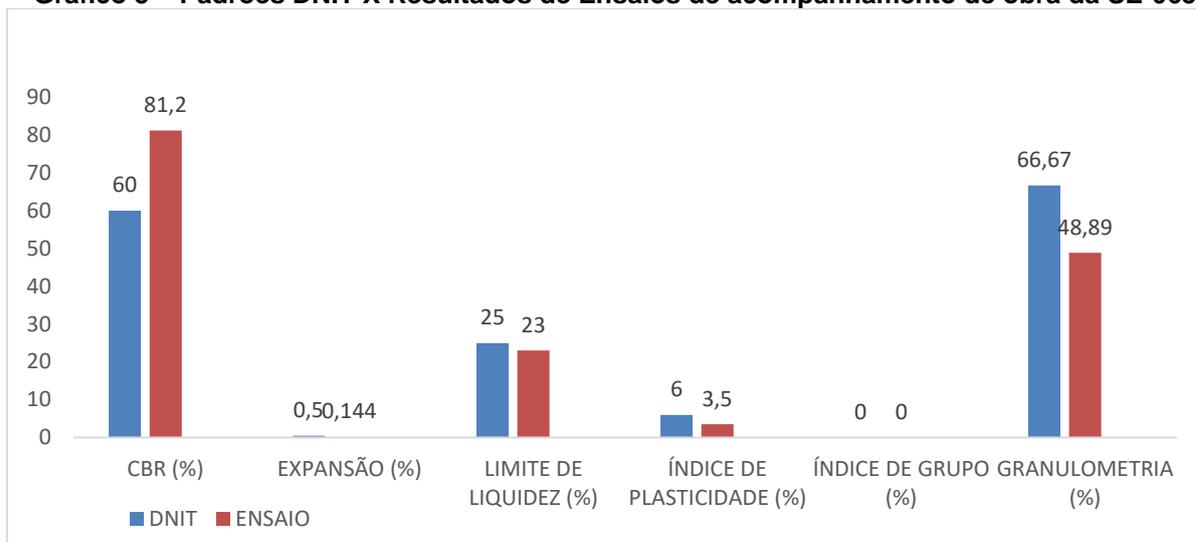
- I. CBR (I.S.C) = 81,2 %
 - II. Expansão = 0,144 %
 - III. Limite de Liquidez = 23 %
 - IV. Índice de plasticidade = 3,5 %
 - V. Índice de grupo = 0 %
- Média do passante da peneira de nº 200 = 17,6%; Média do passante da peneira de nº 40 = 36%; Razão entre as porcentagens = 0,4888 (48,89%)
 - Considerando o $N = 8,5 \times 10^6 > 5 \times 10^6$ (Número de Tráfego de Projeto, metodologia USACE), constata-se os resultados demonstrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Análise granulométrica dos ensaios de acompanhamento de obra

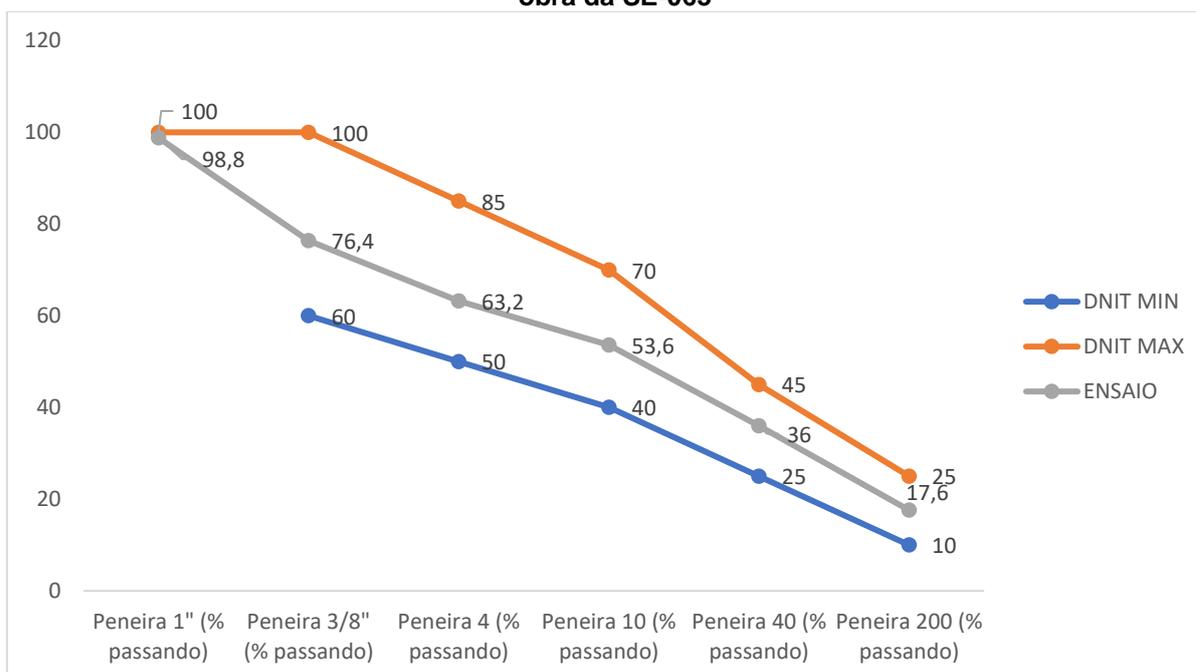
Granulometria peneira (% passando)	(MÉDIA)
1”;	98,8
3/8”;	76,4
Nº4;	63,2
Nº10;	53,6
Nº40;	36
Nº200	17,6

Fonte: A autora (2022)

Os gráficos 5 e 6, representam uma visualização abrangente da totalidade de resultados dos ensaios de acompanhamento de obra da SE-065 com relação aos parâmetros DNIT. Representando o Gráfico 5, os comparativos dos resultados de CBR, Expansão, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo e Parâmetro de Granulometria. De outro modo, o Gráfico 6 reflete a identificação da faixa granulométrica.

Gráfico 5 – Padrões DNIT X Resultados de Ensaios de acompanhamento de obra da SE-065

Fonte: A autora (2022)

Gráfico 6 – Granulometria - Padrões DNIT X Resultados de Ensaios de acompanhamento de obra da SE-065

Fonte: A autora (2022)

Assim sendo, de acordo com a Tabela 14 e levando em consideração as médias aritméticas dos resultados da granulometria das peneiras e o número de tráfego de projeto, as amostras da base existente, da base com mistura e do acompanhamento de obra estão na Faixa granulométrica D, ficando evidente nos Gráficos 2, 4 e 6.

4.4 RODOVIA SE-065 – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE ASFALTO

Conforme o DNIT (2006), existem parâmetros a serem observados com relação à camada de concreto asfáltico de um pavimento, com o principal objetivo de garantir a integridade de uma rodovia. Dessa forma, considerando os resultados apresentados na Tabela 6 (Apêndice C), evidencia-se que:

4.4.1 Resultado e Discussão da Análise dos Dados Obtidos nos Ensaios de Controle Tecnológico Realizado Posteriormente à Finalização da Obra em Comparação à Norma DNIT 031/2006 – ES

Em concordância com o DNIT 031/2006 - ES, o qual aborda sobre Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço, existem parâmetros a serem referenciados, em conformidade com o que segue na Tabela 18:

Tabela 18 – Tolerâncias referente à granulometria e aos percentuais do ligante asfáltico

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 – 100	100	-	± 7 %
1"	25,4	75 – 100	95 – 100	-	± 7 %
¾"	19,1	60 – 90	80 – 100	100	± 7 %
½"	12,7	-	-	80 – 100	± 7 %
3/8"	9,5	35 – 65	45 – 80	70 – 90	± 7 %
Nº 4	4,8	25 – 50	28 – 60	44 – 72	± 7 %
Nº 10	2,0	20 – 40	20 – 45	22 – 50	± 7 %
Nº 40	0,42	10 – 30	10 – 32	8 – 26	± 7 %
Nº 80	0,18	5- 20	8 - 20	4 - 16	± 7 %
Nº 200	0,075	1 – 8	3 – 8	2 - 10	± 7 %
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-ES (2006)

Diante da análise da Tabela 18, o parâmetro da análise granulométrica da camada de concreto asfáltico depende da faixa em que foi considerada para o

pavimento. No caso específico da Rodovia SE-065, a faixa considerada foi a “FAIXA C”, já que a mesma possui uma distribuição granulométrica mais contínua, ou seja, apresenta menor índice de vazios e conseqüentemente, será menos drenante e mais apropriada para a camada de rolamento.

Média dos resultados obtidos dos ensaios do controle tecnológico é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 – Análise granulométrica dos ensaios da camada de asfalto

I. Granulometria

Granulometria peneira (% passando) -

3/4"	100,00
1/2"	92,93
3/8"	78,19
Nº 4;	61,75
Nº 10;	41,56
Nº 40;	23,57
Nº 80;	10,91
Nº 200	3,57

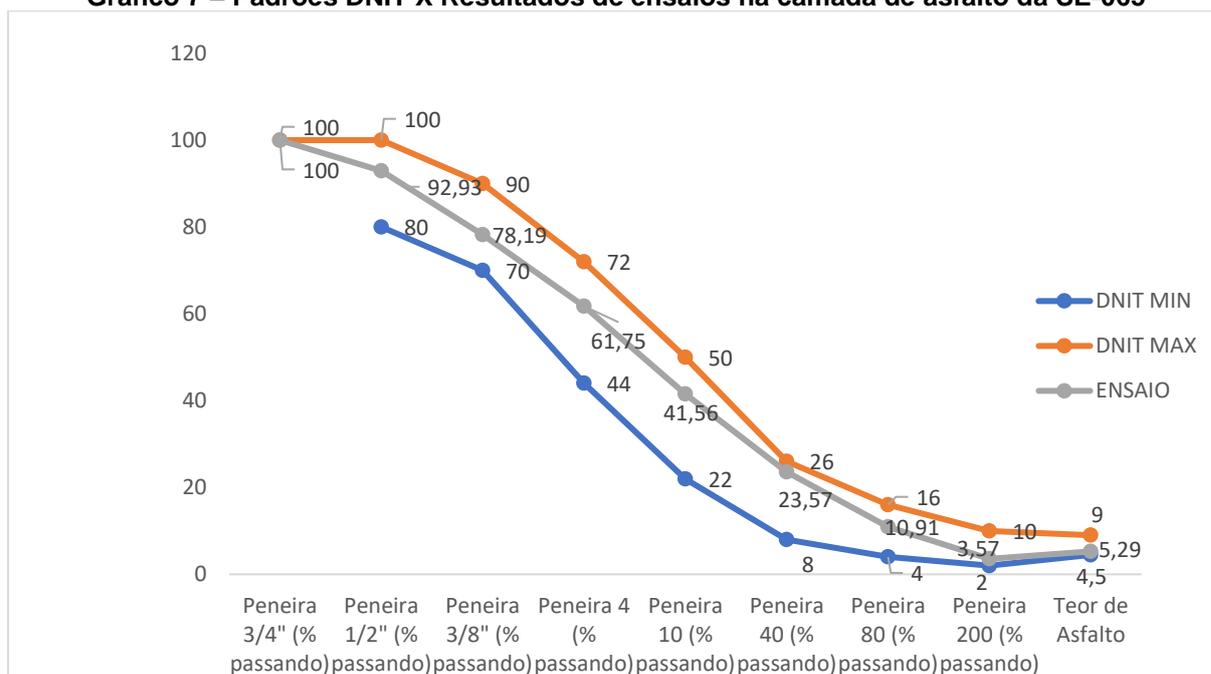
Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2020)

II. Teor de Asfalto:

5,29 (% ligante)

O gráfico 7, expõe uma visualização abrangente do comparativo dos resultados de ensaios na camada de asfalto da SE-065 com relação aos parâmetros DNIT. Evidenciando a faixa granulométrica e a análise entre o resultado do ensaio e o parâmetro do teor de asfalto.

Gráfico 7 – Padrões DNIT X Resultados de ensaios na camada de asfalto da SE-065



Fonte: A autora (2022)

No que concerne ao ensaio do controle tecnológico da Rodovia SE-065, fica evidente que os resultados obtidos estão em conformidade com o prescrito nas normas rodoviárias, sendo a Faixa Granulométrica definida como Faixa C.

4.5 RUA A, LOTEAMENTO JOEL NASCIMENTO, BUGIO – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE BASE DO PAVIMENTO ASFÁLTICO URBANO

O pavimento asfáltico urbano, em específico a camada de base, também deve ser analisado conforme a norma DNIT 141/2010 - ES, possibilitando a comparação dos resultados obtidos de ensaios de caracterização aos parâmetros da norma. Assim sendo, em análise dos resultados expostos da Tabela 11 (Apêndice D), é possível depreender:

4.5.1 **Resultados e Discussão da Análise de Coleta de Dados Obtidos Mediante Ensaio de Estudo da Base da Rua A, no Loteamento Joel Nascimento, em Comparação à Norma DNIT 141/2010 – ES**

Os parâmetros adotados para a análise do referido tópico, relacionado a camada de base com adição de misturas, foram considerados de acordo com a Tabela 13, dada anteriormente.

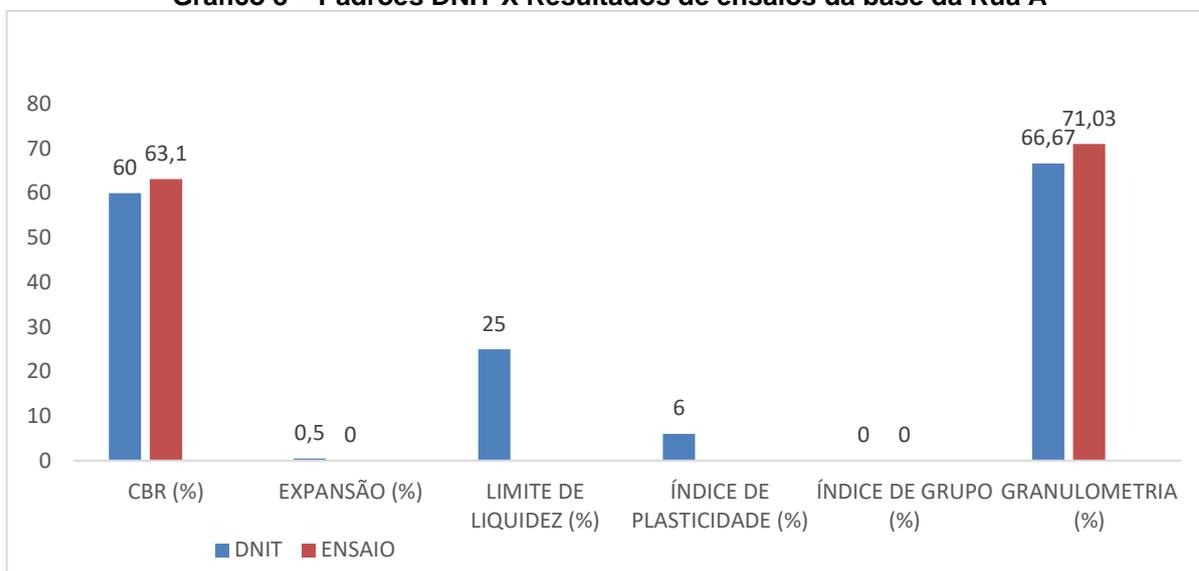
Resultados obtidos dos ensaios da base existente:

- I. CBR (I.S.C) = 63,10 %
- II. Expansão = 0 %
- III. Limite de Liquidez = NL %
- IV. Índice de plasticidade = NP %
- V. Índice de grupo = 0 %
- VI. Média aritmética do passante da peneira de nº 200 = 40,94%; Média do passante da peneira de nº 40 = 57,64%; Razão entre as porcentagens = 0,7103 (71,03%).

O Gráfico 8, constitui uma representação do comparativo entre os resultados dos ensaios da base na Rua A com relação aos parâmetros DNIT, sendo eles as determinações de CRB, Expansão, Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice

de Grupo e Parâmetro de Granulometria.

Gráfico 8 – Padrões DNIT X Resultados de ensaios da base da Rua A



Fonte: A autora (2022)

Devido à inviabilidade de acesso ao Número de tráfego “N” (metodologia USACE) da pavimentação da Rua A, não foi possível determinar a faixa granulométrica conforme a Tabela 14, já que não se tem o “N” (número de tráfego).

Assim sendo, através da análise dos gráficos referentes ao pavimento asfáltico urbano localizado na Rua A, no Loteamento Joel Nascimento, é notório que parâmetros dos ensaios como Expansão, Índice de grupo (IG) e Índice de Suporte Califórnia (ISC), anteriormente denominado de CBR, satisfizeram às exigências das normas de especificação de serviço, o limite de liquidez foi considerado como “NL” ou zero, devido ao fato da amostra não atingir a abertura de uma ranhura na massa do solo ou até mesmo o fechamento com mais de 25 golpes e conseqüentemente, em concordância com o DNER-ME 082/94, quando não é possível estimar o limite de liquidez, adota-se o índice de plasticidade como “NP” (não plástico). Dessa forma, o Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade apresentaram resultados ideais para a utilização dos solos nas camadas do pavimento. Em contrapartida, a análise granulométrica da porcentagem que passa na peneira de nº 200 em comparação a passante na peneira de nº 40, o parâmetro foi ultrapassado aproximadamente + 4,36 %, apresentando um desvio da faixa granulométrica adequada de acordo com a norma DNIT 141/2010 – ES (2010).

4.6 RUA A, LOTEAMENTO JOEL NASCIMENTO – RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DA CAMADA DE ASFALTO

Os resultados obtidos da Tabela 12 (Apêndice D), referentes aos ensaios de caracterização da camada de concreto asfáltico, devem ser comparados com os parâmetros estabelecidos na norma DNIT 031/2006 – ES. Assim sendo, considerando os resultados, constata-se que:

4.6.1 Resultados e Discussão da Análise de Coleta dos Dados Obtidos Mediante Ensaios da Sondagem de Estudo na Camada Asfáltica na Rua A, no Loteamento Joel Nascimento, em Comparação à Norma DNIT 031/2006 – ES

Segundo o DNIT 031/2006 - ES, o qual aborda sobre Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço, existem parâmetros a serem referenciados de acordo com o demonstrado anteriormente na Tabela 18.

Evidencia-se que na Tabela 18 é necessário definir uma faixa granulométrica para considerar e comparar os resultados obtidos da porcentagem passante da granulometria. No caso da Rua A, a faixa classificada também foi a “FAIXA C”.

Média dos resultados obtidos nos ensaios de sondagem para estudo da camada asfáltica é demonstrada por meio da Tabela 20:

Tabela 20 – Análise granulométrica dos ensaios na camada de asfalto do pavimento asfáltico urbano

I. Granulometria

Granulometria peneira (% passando) -

1"	100
3/4"	100
1/2"	92,52
3/8"	81,02
Nº 4;	59,28
Nº 10;	44,14
Nº 40;	21,33
Nº 80;	9,08
Nº 200	2,30
Fundo	0,00

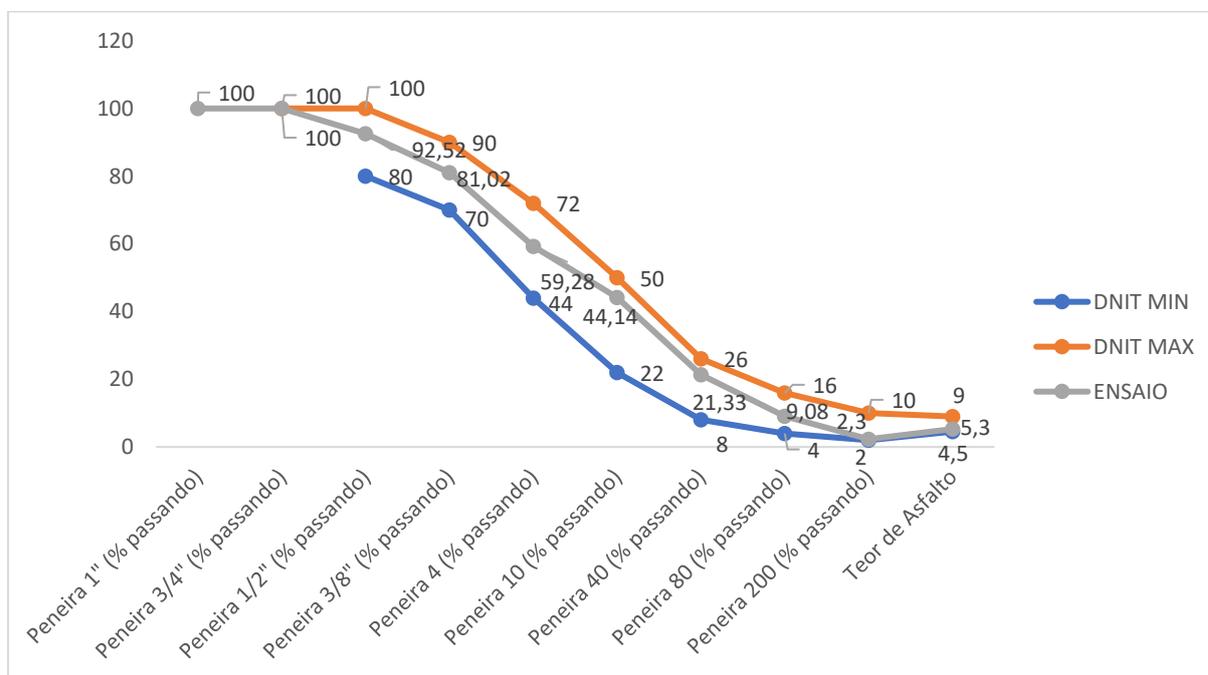
Fonte: Empresa Municipal de Obras e Urbanização (2021)

II. Teor de Asfalto: 5,3 (% ligante)

O Gráfico 9, evidencia uma representação do comparativo dos resultados de ensaios na camada de asfalto da Rua A com relação aos parâmetros DNIT, indicando

a faixa granulométrica e a análise entre o resultado do ensaio e o parâmetro do teor de asfalto.

Gráfico 9 – Padrões DNIT X Resultados de ensaios na camada de asfalto da Rua A



Fonte: A autora (2022)

Acerca da sondagem da camada de concreto asfáltico do pavimento urbano, fica explícita a conformidade dos resultados com relação aos parâmetros da norma de especificação de serviço DNIT 031/2006.

No tocante aos ensaios apresentados referentes à umidade ótima e densidade máxima dos agregados, tanto na SE-065 quanto na Rua A, as normas de especificação de serviço não apresentam parâmetros, já que essas características são intrínsecas ao material. É imprescindível destacar que os parâmetros de CBR (ISC) foram definidos de acordo com a DNIT 141/2010 – ES (2010), adotando CBR (ISC) $\geq 60\%$, uma vez que o Número de tráfego (metodologia AASHTO) foi $N \leq 5 \times 10^6$, tanto para a Rodovia SE-065 quanto para a Rua A, sendo esse dado coletado dos órgãos DER/SE e EMURB. No que tange às classificações TRB (HBR) da Rodovia SE-065 e da Rua A, todos os resultados apresentaram adequadas classificações, as quais categorizam o comportamento do solo como subleito de excelente a bom, conforme mostrado no Quadro 3.

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS DA RODOVIA SE-065

Diante da análise do item 4.1.6 e das tabelas do Apêndice E, referente as planilhas orçamentárias do serviço de recuperação da SE-065, fica perceptível que na Tabela 8 (Apêndice E) os itens 2.8.1, 2.8.2, 2.8.3 referem-se aos custos da retirada por fresagem e transporte de 5cm da camada de concreto asfáltico da rodovia, como também, a descarga do mesmo, já que esse material não será reutilizado. Por outro lado, na Tabela 10 (Apêndice E), os itens 2.8.1, 2.8.2 e 2.8.3 estão relacionados ao procedimento de reciclagem do pavimento, incluindo todo o processo de trituração, mistura, transporte e descarga do material que será reutilizado.

No que concerne ao item 2.8.7 da Tabela 8, é notório que houve um aumento de 88,92% na quantidade de material utilizado na camada de base, devido ao fato de que não foi utilizado o processo de reciclagem para recuperação do pavimento e foi necessário adquirir um novo material para utilização na camada de base, evidenciando a sustentabilidade ambiental que o pavimento reciclado propicia, já que possivelmente esse novo material poderá ser retirado do meio ambiente.

Fica evidente que o custo de recuperação por reciclagem da SE-065 apresentou uma economia de R\$ 3.350.646,45 (três milhões, trezentos e cinquenta mil, seiscentos e quarenta e seis reais e quarenta e cinco centavos) em comparação à planilha de recuperação por fresagem, estimando uma economia de R\$ 257.742,035 (duzentos e cinquenta e sete mil, setecentos e quarenta e dois reais e trinta e cinco centavos) por quilômetro pela aplicação do processo de reciclagem, já que a rodovia possui extensão de 13 Km.

5 CONCLUSÃO

O referido trabalho se propôs a evidenciar a importância e eficiência da técnica de reciclagem na recuperação do pavimento rodoviário, apontando as diferenças econômicas entre os pavimentos rodoviários reciclado e o convencional, bem como, a sustentabilidade ambiental, além de avaliar os índices que influenciam na escolha técnica na recuperação de pavimento por reciclagem.

Nesse sentido e considerando todo o exposto, fica evidente que os resultados obtidos do pavimento rodoviário reciclado constataram eficiência diante das regulamentações do DNIT, além de provar que a reciclagem de pavimentos flexíveis assegura a sua qualidade, tal como o método convencional, apresentando nesse caso, uma faixa granulométrica mais adequada em todos os ensaios, ao ser comparado com o método tradicional, que por sua vez, apresentou um desvio de parâmetro granulométrico, como também, revelou que o processo de reciclagem é economicamente viável e sustentável.

Em vista disso, o presente estudo se configurou como uma oportunidade ímpar de crescimento pessoal e intelectual, enquanto pesquisadora e por essa razão, se pressupõe que como consequência dessa pesquisa, outros graduandos se sintam entusiasmados a investigar mais sobre esse tema.

Por fim, é possível afirmar, inexoravelmente, que os objetivos gerais e secundários do presente trabalho foram atingidos, já que o estudo comprovou que o pavimento rodoviário reciclado apresenta eficiência, economia e sustentabilidade.

5.1 SUGESTÕES

Alicerçado nesse estudo, pode-se sugerir como trabalhos futuros:

Em virtude do desvio granulométrico apresentado pela recuperação convencional do pavimento asfáltico urbano e a congruente granulometria do pavimento reciclado, torna-se viável um estudo da aplicação do processo de reciclagem de pavimentos flexíveis para o melhoramento da granulometria de pavimentos flexíveis.

REFERÊNCIAS

BATISTA, Rafael Santos. **Reciclagem do resíduo produzido pela fresagem do concreto asfáltico**. 2016. 52 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

BERNUCCI, Liedi Bariani, *et al.* **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BRUGNOLI, A. M. *et al.* Análise de Custo X Benefícios na Reciclagem de Asfalto. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 4., 2018, São Bernardo do Campo/SP. **Anais - Congressos Brasileiros de Gestão Ambiental**. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/XI-027.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>. Acesso em: 20 ago. 2021.

CUNHA, Célia Melo. **Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Diferentes Tipos de Reciclagem**. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Mestre em Engenharia Civil na Área de especialização de Vias de Comunicação e Transportes, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2010.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM. **DER: Diretrizes e procedimentos para serviços de conservação especial incluindo a identificação de defeitos e definições de soluções para restauração de pavimentos rodoviários e da sinalização horizontal**. São Paulo, 2013.

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

_____. **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **DNER-ME 053/94: Misturas betuminosas – percentagem de betume**, 1994.

_____. **DNER-ME 080/94: Solos – análise granulométrica por peneiramento**, 1994.

_____. **DNER-ME 122/94: Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito**, 1994.

_____. **DNER-ME 082/94: Solos – determinação do limite de plasticidade**, 1994.

_____. **DNER-ME 162/94: Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas**, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **DNIT 141/2010 – ES:** Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **DNIT 167/2013 – ES:** Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de Cimento Portland - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **DNIT 031/2006 – ES:** Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **DNIT 172/2016 – ME:** Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Brasília, 2016.

FILHO, José Moacir de Mendonça; ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. São Paulo, Vol. 02, pp. 146-163, 2018. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/artigo-cientifico/pdf/pavimentos-flexivel.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

FLORIANO, Cleber. **Mecânica dos Solos**. Porto Alegre: Grupo A, 2016. 9788569726975. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788569726975/>. Acesso em: 09 jan. 2022.

FONSECA, Regina Célia Veiga da. **Metodologia do trabalho científico**. 1. ed. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.

GONSALVES, Elisa Pereira. **Conversas Sobre Iniciação à Pesquisa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Alínea, 2018, 150 p.

GUSMÃO, Cláudia Betine. **Evolução temporal da resistência mecânica em laboratório, de misturas simulando a reciclagem de pavimento asfáltico com adição de cimento Portland**. 2008. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

HILÁRIO, Ronderson Q. **Uso de pavimento reciclado adicionado com cimento para uso como reforço de base para rodovias – estudo de caso: BR-120**. 2016. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MELO, Maylane Suelen; CANCIAN, Victor Antonio. **Patologias no pavimento flexível**. 2018. 16f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Paranaense, Campus de Toledo. Paraná, 2018. Disponível em: <https://tcc.unipar.br/files/tccs/84893270916199c85c13df15ebc08cfe.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.

MOTTA, Renata Almeida. **Benefícios ambientais em decorrência da implantação de sistemas de Transporte rápido e de alta capacidade de ônibus – o caso do**

Transmilênio. 2009. F. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, Patricia. **Reciclagem de pavimento asfáltico.** 2019. 27 f. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Infraestrutura Urbana, Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas, São Paulo, 2019.

SANTOS, Eliana Fernandes. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

SANTOS, Mariana dos Reis; DEMUELENAERE, Rafael Gerard de Almeida. Reciclagem de pavimento asfáltico a quente in situ. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, São Paulo, vol. 01, pp. 5-16, 2018. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/reciclagem-pavimento-asfaltico-quente>. Acesso em: 03 jul.2021.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de técnicas de pavimentação.** 2 Ed. São Paulo: Pini, 2007.

TEIXEIRA, Fernanda dos Santos; MEIRA, Jéssica Ercília. **Reciclagem de pavimentos asfálticos em camadas de sub-base:** Estudo de Caso BR-381. 2018. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Rede de Ensino Doctum, João Monlevade, 2018.

APÊNDICE A – DADOS DOS ENSAIOS DA BASE EXISTENTE (RODOVIA SE-065)

Tabela 3 – Resumo dos ensaios da base existente

RODOVIA SE - 065					
Furo	01 LD	05 LD	06 LD	16 LE	22 LD
Amostra	01	04	02	05	03
Distância em metros	500	2.500	3.000	8.000	11.000
Granulometria peneira (% passando)					
–					
1”;	98;	98;	93;	97;	94;
3/8”;	83;	82;	72;	88;	70;
Nº 4;	68;	68;	59;	73;	57;
Nº 10;	55;	57;	52;	57;	50;
Nº 40;	40;	41;	40;	42;	41;
Nº 200	25	27;	21;	28;	25;
Limite de Liquidez (%)	21	24	19	22	23
Índice de plasticidade (%)	7	7	6	6	7
Índice de grupo (%)	0	0	0	0	0
Classificação de H.R.B	A-2-4	A-2-4	A-1-b	A-2-4	A-2-4
D. máxima (kg/dm ³)					
U. ótima (%)	1,968	1,957	2,009	1,983	2,002
I.S.C (%)	9,3	10,2	7,8	8,60	8,20
Expansão	48	45	57	53	49
	0,62	0,68	0,31	0,57	0,46

Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2020)

APÊNDICE B – DADOS DOS ENSAIOS DA BASE COM MISTURA (RODOVIA SE-065)

Tabela 4 – Tabela resumo dos ensaios da mistura da base existente com CBUQ incorporado, acrescentando 15% de areia fina e 25% de brita corrida

RODOVIA SE - 065					
Amostra	Mistura	Mistura	Mistura	Mistura	Mistura
Camada da base do furo	01	05	06	16	22
Distância em Metros	500	2.500	3.000	8.000	11.000
Granulometria peneira (% passando) -					98
1";	100	98	90	98	72
3/8";	76	76	69	84	57
Nº 4;	61	63	57	69	44
Nº 10;	49	51	47	51	34
Nº 40;	33	35	33	33	16
Nº 200	12	14	14	17	
Limite de Liquidez (%)	18	23	18	19	20
Índice de plasticidade (%)	3	4	3	3	4
Índice de grupo (%)	0	0	0	0	0
Classificação de H.R.B	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b
D. máxima (kg/dm ³)	2,052	2,048	2,079	2,057	2,061
U. ótima (%)	8,5	8,7	7,6	7,7	7,6
I.S.C (%)	79	72	81	83	80
Expansão	0,09	0,13	0,08	0,07	0,11

Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2020)

APÊNDICE C – DADOS DOS ENSAIOS DE ACOMPANHAMENTO DA OBRA E CONTROLE TECNOLÓGICO (RODOVIA SE-065)

Tabela 5 – Resumo dos ensaios realizados em laboratório a respeito do acompanhamento da obra

RODOVIA SE 065	ESTACA 100 X	ESTACA 200 L E	ESTACA 275 X	ESTACA 440 L.E	ESTACA 600
Camada em Estudo	Base	Base	Base	Base	Base
Granulometria peneira (% passando)					
1";	99	99	100	98	98
3/8";	72	76	83	73	78
Nº 4;	61	65	66	59	65
Nº 10;	54	55	54	52	53
Nº 40;	39	33	32	39	37
Nº 200	15	15	17	21	20
Limite de Liquidez (%)	23	24	22	-	23
Índice de plasticidade (%)	4	4	2	N.P	4
Índice de grupo (%)	0	0	0	0	0
Classificação H.R.B.	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b
D. máxima (kg/dm ³)	2,075	2,123	2,136	2,167	2,063
U. ótima (%)	7,5	7,6	7,4	7,7	7,6
I.S.C (%)	83	72	88	91	72
Expansão	0,13	0,19	0,10	0,09	0,21

Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2020)

Tabela 6 – Resultados obtidos referente ao controle tecnológico

RODOVIA SE 065	Amostra 05	Amostra 07	Amostra 09
Peso da amostra (g)	621,97	652,20	659,50
Teor de Betume	5,29 %	5,43%	5,15%
Granulometria peneira (% passando) -			
3/4"	100	100	100
1/2"	89,67	94,62	94,51
3/8"	71,24	84,01	79,32
Nº 4;	53,50	67,30	64,46
Nº 10;	36,96	45,40	42,31
Nº 40;	21,09	26,77	22,84
Nº 80;	10,61	11,42	10,69
Nº 200	3,70	3,28	3,73

Fonte: Divisão de laboratório do DER – SE (2020)

APÊNDICE D – DADOS DOS ENSAIOS DA BASE E SONDAGEM DA CAMADA ASFÁLTICA DA RUA A

Tabela 11 – Resultados obtidos do estudo da base

Rua A, Loteamento Joel Nascimento, Bugio.	
Granulometria peneira (% passando)	
–	
2"	100
1";	100
3/8";	41,09
Nº 4;	34,76
Nº 10;	19,69
Nº 40;	57,64
Nº 200	40,94
Limite de Liquidez (%)	NL
Índice de plasticidade (%)	NP
Índice de grupo (%)	0
Classificação de H.R.B	A-1-a
D. máxima (kg/dm ³)	
U. ótima (%)	2,20
I.S.C (%)	8,2
Expansão	63,10
	0

Fonte: Usina de asfalto da EMURB (2021)

Tabela 12 – Boletim de sondagem da camada asfáltica

Boletim de	Data	Coleta	Posição	Material	Local
Sondagem	04/11/2021	04/11/2021	E	CBUQ	Rua A, Loteamento Joel Nascimento, Bugio.
Granulometria peneira (% passando) -					
1"					100
3/4"					100
1/2"					92,52
3/8"					81,02
Nº 4;					59,28
Nº 10;					44,14
Nº 40;					21,33
Nº 80;					9,08
Nº 200					2,30
Fundo					0,00
Teor de asfalto (% ligante)					5,3

Fonte: Usina de asfalto da EMURB (2021)

APÊNDICE E – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS

Tabela 7 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por fresagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água)

ITEM	DESCRIÇÃO	UNI.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
1	MATERIAIS				R\$ 3.613.494,70
1.1	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO				R\$ 3.454.433,23
1.2	TRANSPORTE DE MATERIAL BETUMINOSO				R\$ 159.061,47
2	SERVIÇOS				R\$ 11.134.506,64
2.1	ADMINISTRAÇÃO LOCAL				R\$ 699.267,40
2.2	IMPLANTAÇÃO DO CANTEIRO				R\$ 54.613,26
2.3	CANTEIRO DE OBRAS				R\$ 331.223,21
2.4	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO				R\$ 11.310,00
2.5	SERVIÇOS PRELIMINARES				R\$ 86.592,48
2.6	SINALIZAÇÃO DA OBRA				R\$ 5.612,41
2.7	TERRAPLENAGEM				R\$ 7.355,32
2.8	PAVIMENTAÇÃO				R\$ 8.477.024,50
2.9	DRENAGEM				R\$ 863.703,75
2.10	SINALIZAÇÃO VERTICAL				R\$ 55.358,55
2.11	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL				R\$ 435.358,30
2.12	OBRAS COMPLEMENTARES				R\$ 78.183,78
2.13	PROJETO				R\$ 28.903,68
VALOR TOTAL DO ORÇAMENTO					R\$ 14.748.001,34

Fonte: Gerência de projetos (GEPRO) – DER/SE (2020)

Tabela 8 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por fresagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água), com descrição da pavimentação

	UND.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
ITEM PAVIMENTAÇÃO				R\$ 8.477.024,50
2.8.1 Remoção mecanizada de revestimento asfáltico	m ³	5.200,00	4,36	R\$ 22.672,00
2.8.2 Carga, manobra e descarga de material demolido em caminhão basculante de 6 m ³ - carga com carregadeira de 1,72 m ³ e descarga livre (revestimento asfáltico)	t	12.480,00	2,80	R\$ 34.944,00
2.8.3 Transporte com caminhão basculante de 6 m ³ - rodovia pavimentada (revestimento asfáltico), DMT=10,00KM	tkm	124.800,00	0,79	R\$ 98.592,00
2.8.4 Fornecimento (aquisição) de areia fina	m ³	1.397,50	119,74	R\$ 167.336,65
2.8.5 Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga com carregadeira de 3,40 m ³ (exclusa) e descarga livre, inclusive espalhamento	t	2.096,25	1,56	R\$ 3.270,15
2.8.6 Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (areia), DMT=28,20KM	tkm	59.114,25	0,70	R\$ 41.379,98
2.8.7 Base ou sub-base de brita graduada com brita granítica comercial, exclusive transporte de agregados	m ³	19.297,20	179,14	R\$ 3.456.900,41
2.8.8 Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga com carregadeira de 3,40 m ³ (exclusa) e descarga livre, inclusive espalhamento	t	42.453,46	1,56	R\$ 66.227,40
2.8.9 Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (brita e pó de pedra), DMT=72,90KM	tkm	3.094.857,23	0,70	R\$ 2.166.400,06
2.8.10 Imprimação, sem fornecimento e transporte de material betuminoso	m ²	104.000,00	0,39	R\$ 40.560,00
2.8.11 Pintura de ligação, sem fornecimento e transporte de material betuminoso	m ²	104.000,00	0,30	R\$ 31.200,00
2.8.12 Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita granítica comerciais, sem fornecimento e transporte de material betuminoso, exclusive transporte de agregados e do concreto	t	9.360,00	176,43	R\$ 1.651.384,80

Continua

	UND.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
ITEM PAVIMENTAÇÃO				R\$ 8.477.024,50
2.8.13 Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga com carregadeira de 3,40 m ³ (exclusa) e descarga livre, inclusive espalhamento	t	8.407,08	1,56	R\$ 13.115,04
2.8.14 Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (areia para usinagem de CAUQ), DMT=28,20KM	tkm	131.150,52	0,70	R\$ 91.805,36
2.8.15 Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (brita e pedrisco para usinagem de CAUQ), DMT=72,90KM	tkm	273.837,61	0,70	R\$ 191.686,33
2.8.16 Carga, manobra e descarga de mistura betuminosa a quente em caminhão basculante de 10 m ³ - carga em usina de asfalto 100/140 t/h e descarga em vibroacabadora	t	9.547,20	6,85	R\$ 65.398,32
2.8.17 Transporte de concreto asfáltico, com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada, DMT=50,00KM	tkm	477.360,00	0,70	R\$ 334.152,00

Fonte: Gerência de projetos (GEPRO) – DER/SE (2020)

Tabela 9 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por reciclagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água)

ITEM	DESCRIÇÃO	UNI.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
1	MATERIAIS				R\$ 3.613.494,70
1.1	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO				R\$ 3.454.433,23
1.2	TRANSPORTE DE MATERIAL BETUMINOSO				R\$ 159.061,47
2	SERVIÇOS				R\$ 7.783.860,19
2.1	ADMINISTRAÇÃO LOCAL				R\$ 699.267,40
2.2	IMPLANTAÇÃO DO CANTEIRO				R\$ 54.613,26
2.3	CANTEIRO DE OBRAS				R\$ 331.223,21
2.4	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO				R\$ 11.310,00
2.5	SERVIÇOS PRELIMINARES				R\$ 86.592,48
2.6	SINALIZAÇÃO DA OBRA				R\$ 5.612,41
2.7	TERRAPLENAGEM				R\$ 7.355,32
2.8	PAVIMENTAÇÃO				R\$ 5.126.378,05
2.9	DRENAGEM				R\$ 863.703,75
2.10	SINALIZAÇÃO VERTICAL				R\$ 55.358,55
2.11	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL				R\$ 435.358,30
2.12	OBRAS COMPLEMENTARES				R\$ 78.183,78
2.13	PROJETO				R\$ 28.903,68
VALOR TOTAL DO ORÇAMENTO					R\$ 11.397.354,89

Fonte: Gerência de projetos (GEPRO) – DER/SE (2020)

Tabela 10 – Planilha orçamentária parcial da recuperação por reciclagem na rodovia estadual sergipana SE-065 (João Bebe Água), com descrição da pavimentação

	UND.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
ITEM PAVIMENTAÇÃO				R\$ 5.126.378,05
2.8.1 Reciclagem com adição de brita granítica comercial e incorporação do revestimento asfáltico à base, exclusive transporte de agregados	m ³	22.360,00	63,43	R\$ 1.418.294,80
2.8.2 Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga com carregadeira de 3,40 m ³ (exclusa) e descarga em distribuidor autopropelido, inclusive espalhamento	t	8.385,00	2,24	R\$ 18.782,40
2.8.3 Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (brita para reciclagem), DMT=72,90KM	tkm	611.266,50	0,70	R\$ 427.886,55
2.8.4 Fornecimento (aquisição) de areia fina	m ³	1.397,50	119,74	R\$ 167.336,65
2.8.5 Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga com carregadeira de 3,40 m ³ (exclusa) e descarga livre, inclusive espalhamento	t	2.096,25	1,56	R\$ 3.270,15
2.8.6 Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (areia), DMT=28,20KM	tkm	59.114,25	0,70	R\$ 41.379,98
2.8.7 Base ou sub-base de brita graduada com brita granítica comercial, exclusive transporte de agregados	m ³	2.137,20	179,14	R\$ 382.858,01
2.8.8 Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga com carregadeira de 3,40 m ³ (exclusa) e descarga livre, inclusive espalhamento	t	42.453,46	1,56	R\$ 66.227,40
2.8.9 Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (brita e pó de pedra), DMT=72,90KM	tkm	3.094.857,23	0,70	R\$ 2.166.400,06
2.8.10 Imprimação, sem fornecimento e transporte de material betuminoso	m ²	104.000,00	0,39	R\$ 40.560,00
2.8.11 Pintura de ligação, sem fornecimento e transporte de material betuminoso	m ²	104.000,00	0,30	R\$ 31.200,00

				Continua	
	UND.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	
ITEM PAVIMENTAÇÃO				R\$ 5.126.378,05	
2.8.12	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita granítica comerciais, sem fornecimento e transporte de material betuminoso, exclusive transporte de agregados e do concreto	t	9.360,00	176,43	R\$ 1.651.384,80
2.8.13	Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga com carregadeira de 3,40 m ³ (exclusa) e descarga livre, inclusive espalhamento	t	8.407,08	1,56	R\$ 13.115,04
2.8.14	Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (areia para usinagem de CAUQ), DMT=28,20KM	tkm	131.150,52	0,70	R\$ 91.805,36
2.8.15	Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (brita e pedrisco para usinagem de CAUQ), DMT=72,90KM	tkm	273.837,61	0,70	R\$ 191.686,33
2.8.16	Carga, manobra e descarga de mistura betuminosa a quente em caminhão basculante de 10 m ³ - carga em usina de asfalto 100/140 t/h e descarga em vibroacabadora	t	9.547,20	6,85	R\$ 65.398,32
2.8.17	Transporte de concreto asfáltico, com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada, DMT=50,00KM	tkm	477.360,00	0,70	R\$ 334.152,00

Fonte: Gerência de projetos (GEPRO) – DER/SE (2020).