

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ALEXANDRE LUIZ MANFRO

**ALTERNATIVA DE PROJETO PARA A RESTAURAÇÃO DA RODOVIA ERS-324
PELO MÉTODO EMPÍRICO-MECANICISTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2018

ALEXANDRE LUIZ MANFRO

**ALTERNATIVA DE PROJETO PARA A RESTAURAÇÃO DA RODOVIA ERS-324
PELO MÉTODO EMPÍRICO-MECANICISTA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná-Câmpus Pato Branco
Orientador: Prof^o. Msc. Jairo Trombetta.

PATO BRANCO

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

ALTERNATIVA DE PROJETO PARA A RESTAURAÇÃO DA RODOVIA ERS-324 PELO MÉTODO EMPÍRICO-MECANICISTA

ALEXANDRE LUIZ MANFRO

No dia 19 de novembro de 2018, às 10h20min, na SALA DE TREINAMENTO da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº39-TCC/2018.

Orientador: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. DANILO RINALDI BISCONSINI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a. Dr^a. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção e força em todos os momentos.

Aos meus pais Leonilso e Méri, além do meu irmão Arlan, pelo apoio, compreensão e incentivo durante toda esta caminhada.

Aos meus amigos e familiares, que, de alguma forma, sempre estiveram presentes e contribuindo.

Ao meu professor orientador, Prof. Msc. Jairo Trombetta, por todo conhecimento repassado, atenção, apoio e dedicação para que este trabalho se concretizasse.

Ao Engenheiro Laércio Ribeiro Antunes, pela grande contribuição, apoio e atenção durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores da banca examinadora, Prof. Msc Danilo Rinaldi Bisconsini e Prof^a. Dr^a. Elizângela Marcelo Siliprandi pelas fundamentais contribuições a este trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e aos demais professores da graduação, pelos valorosos ensinamentos.

RESUMO

MANFRO, Alexandre Luiz. **Alternativa de projeto para a restauração da rodovia ERS-324 pelo método empírico-mecanicista**. 2018, 146 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.

O presente estudo tem como objetivo apresentar uma alternativa para o projeto de reciclagem empregado na restauração da rodovia ERS-324, bem como apresentar um comparativo de custos. As espessuras e a situação do pavimento *in situ* foram obtidas através da interpretação dos dados de sondagens. Utilizando a norma DNER PRO 011/79 B, classificou-se os segmentos homogêneos de acordo com sua situação estrutural e aplicando a metodologia do Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis/DNIT encontrou-se a solução recomendada para cada segmento homogêneo. Nos segmentos homogêneos onde foi prevista a reconstrução do pavimento, a estrutura foi dimensionada conforme o método do DNER. Com os dados de bacias deflectométricas coletadas com o equipamento FWD, disponibilizadas pelo DAER/RS, utilizou-se o *software* BAKFAA para obter o módulo de resiliência *in situ* através de retroanálise. Por meio do *software* ELSYM5, adotando-se os conceitos de análise mecanicista avaliou-se a deflexão total da estrutura (D), as deformações específicas de tração na fibra inferior do revestimento (ϵ_t) e de deformação no topo do subleito (ϵ_v), as quais forneceram valores para, em seguida, aplicar modelos de desempenho de fadiga e deformação permanente de modo a permitir a obtenção do número N de eixos padrões para cada solução definida. Além disso, empregando o sistema de custos rodoviários (SICRO) do DNIT, orçou-se os serviços de cada alternativa. A prática da reciclagem de pavimentos, apresentou-se com um custo mais elevado em relação à alternativa proposta. Portanto, concluiu-se que é indispensável que na concepção do projeto sejam realizadas avaliações detalhadas da estrutura do pavimento de modo a confirmar as características dos materiais que compõe a estrutura do pavimento a fim de se obter a solução que apresente o melhor custo-benefício para cada caso.

Palavras-chave: Pavimento flexível. Reciclagem de pavimento. Retroanálise. Análise mecanicista.

ABSTRACT

MANFRO, Alexandre Luiz. **Alternative project to the rehabilitation of highway ERS-324 by the mechanistic-empirical method.** 2018, 146 pag. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.

This study presents an alternative project to the project of pavement recycling used in the rehabilitation of highway ERS-324 and a cost comparison between the rehabilitation alternatives. The results provided by test pits determined the thickness and in situ condition of the pavement. The homogeneous segments were classified according to their structural condition using DNER PRO 011/79 B and the rehabilitation solutions of each segment was defined using Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis/DNIT methodology. The pavement structure was calculated according to DNER method in the homogeneous segments where the full reconstruction is required. With the deflectometric basins data collected with FWD equipment, provided by DAER/RS, the BAKFAA software through backcalculation obtained the resilient modulus. Using ELSYM5 software, by mechanistic analysis concepts, it was evaluated the deformation of structure (D), specific tensile strains in lower fiber coating (ϵ_t) and subgrade tensile strain (ϵ_v), which provided values to apply performance models for fatigue and permanent deformation, enabling to obtain the N number of standard axles for each rehabilitation solution. In addition, the pavement rehabilitation services were budgeted using Sistema de Custos Rodoviários do DNIT (SICRO). The recycling pavement rehabilitation solution offers a higher cost in relation to the rehabilitation alternative proposed. Therefore, in road design is essential detailed evaluations of the pavement structure to obtain the rehabilitation solution, which meet the better cost benefit.

Key words: Flexible pavement. Pavement recycling. Backcalculation. Mechanistic analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição de tensões em pavimentos flexíveis e rígidos	18
Figura 2: Configurações de pavimento semirrígido	19
Figura 3: Esquema da Viga Benkelman	31
Figura 4: Representação de deflectômetros de impacto	32
Figura 5: Extração de corpo de prova através de sonda rotativa (esq.) e corpos de prova (dir.)	34
Figura 6: Abertura de poço de sondagem	34
Figura 7: Dispositivo de reciclagem a frio in situ	41
Figura 8: Aplicação do agente estabilizante: manual (esq.) e mecânica (dir.)	43
Figura 9: Sequência de execução da reciclagem de pavimentos.....	44
Figura 10: Localização do segmento.....	45
Figura 11: Corte do pavimento (esq.) e material a ser coletado (dir.)	46
Figura 12: Uniformização do agregado miúdo (esq.) e distribuição de cimento (dir.)	48
Figura 13: Recicladora realizando o corte do pavimento	49
Figura 14: Compactação do material reciclado (esq.) e execução do revestimento (dir.)	50
Figura 15: Ábaco para determinação das espessuras do pavimento.....	56
Figura 16: Interface BAKFAA	58
Figura 17: Tela inicial ELSYM5	61
Figura 18: Lançamento da estrutura pavimento no ELSYM5.....	61
Figura 19: Carregamento em um Eixo Padrão de 8,2 tf	62
Figura 20: Lançamento do carregamento no ELSYM5	62
Figura 21: Pontos analisados.....	63
Figura 22: Posicionamento dos pontos de análise no ELSYM5.....	63
Figura 23: Exemplo de resultado obtido no ELSYM5.....	64
Figura 24: Configuração do pavimento in situ	72
Figura 25: Degraus entre pista e acostamento.....	-
Figura 26: Configuração do pavimento para os trechos reconstruídos	-
Figura 27: Posicionamento dos pontos de análise no ELSYM5 (reconstruções)	91
Figura 28: Resultados da deflexão total da estrutura (reconstruções)	92
Figura 29: Resultados da deformação específica de tração no revestimento (reconstruções)	92

Figura 30: Resultados para a deformação vertical no topo do subleito (reconstruções)	92
Figura 31: Comparação entre área sem fresagem (esq.) e fresada (dir.) (FSp + TSD + H4)	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número NUSACE	68
Tabela 2: Número NAASHTO	69
Tabela 3: Projeção do Volume Médio Diário Comercial	70
Tabela 4: Dados obtidos por sondagens	71
Tabela 5: Segmentos Homogêneos e parâmetros estruturais	76
Tabela 6: Módulos de Resiliência médios obtidos por retroanálise	78
Tabela 7: Diagnóstico dos segmentos homogêneos pela norma DNER PRO 011/79 B	83
Tabela 8: Soluções pelo Catálogo de Soluções do DNIT	85
Tabela 9: Soluções pelo Catálogo de Soluções do DNIT ajustadas	87
Tabela 10: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis (reconstruções)	93
Tabela 11: Parâmetros inseridos no ELSYM5 para as restaurações	94
Tabela 12: Profundidades analisadas nas soluções de restauração.....	95
Tabela 13: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis para TSD + H4	95
Tabela 14: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis para TSD + H5	95
Tabela 15: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis para TSD + H9	96
Tabela 16 Orçamento do projeto de reciclagem.....	97
Tabela 17: Orçamento da alternativa de projeto	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico.....	17
Quadro 2: Classificação do solo de acordo com o diâmetro aparente dos grãos.....	22
Quadro 3: Classificação das areias de acordo com sua compactação	22
Quadro 4: Classificação das argilas de acordo com sua consistência	22
Quadro 5: Fatores de equivalência de carga da AASHTO	25
Quadro 6: Fatores de equivalência de carga do USACE	26
Quadro 7: Normas para dosagem, fiscalização e ensaios.	42
Quadro 8: Resumo dos resultados de RCS e RT aos 7 dias de cura	47
Quadro 9: Resumo dos parâmetros do projeto de reciclagem	47
Quadro 10: Critérios utilizados na norma DNER PRO 011/79 B.....	52
Quadro 11: Categoria de veículos para estudos econômicos	53
Quadro 12: Coeficientes de equivalência estrutural - K	54
Quadro 13: Espessura mínima de revestimento betuminoso	55
Quadro 14: Parâmetros de Cálculo para Obtenção do Número N_{USACE}	68
Quadro 15: Parâmetros de Cálculo para Obtenção do Número N_{AASHTO}	69
Quadro 16: Parâmetros utilizados na retroanálise	77
Quadro 17: Parâmetros inseridos no ELSYM5 para as reconstruções	91

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	PAVIMENTO	16
2.1.1	Definição e conceitos gerais	16
2.1.2	Pavimento semirrígido	18
2.1.3	Fadiga	20
2.2	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO	20
2.2.1	Método empírico-mecanicista	21
2.3	SOLO DE FUNDAÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	21
2.3.1	Textura/Granulometria	22
2.3.2	Umidade.....	23
2.3.3	<i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	23
2.4	ESTUDO DE TRÁFEGO.....	24
2.4.1	Cálculo número N	24
2.5	DIAGNÓSTICO DOS PAVIMENTOS.....	27
2.5.1	Avaliação dos defeitos	27
2.5.2	Avaliação funcional	28
2.5.2.1	Levantamento Visual Contínuo (LVC).....	29
2.5.2.2	<i>International Roughness Index</i> (IRI).....	30
2.5.3	Avaliação estrutural.....	30
2.5.3.1	Ensaio não destrutivo	31
2.5.3.2	Ensaio destrutivo	33
2.5.4	Segmentos homogêneos	34
2.5.5	Formas de intervenção	35
2.5.5.1	Conservação	35
2.5.5.2	Restauração.....	36
2.5.5.3	Melhoramento/Reconstrução	37
2.5.6	Retroanálise	37

2.5.6.1	Módulo de Resiliência e Coeficiente de Poisson	38
2.6	RECICLAGEM DE PAVIMENTOS	39
2.6.1	Objetivos	39
2.6.2	Reciclagem a Frio	40
2.6.2.1	Reciclagem Profunda com Adição de Cimento	41
2.6.3	Equipamentos e processos executivos	42
3	PROJETO DE RECICLAGEM	45
3.1	LOCALIZAÇÃO	45
3.2	PROJETO DA CAMADA DE BASE RECICLADA	46
3.3	PROCESSO EXECUTIVO DA RECICLAGEM DE PAVIMENTO	48
4	METODOLOGIA	51
4.1	PROPOSTA PARA INTERVENÇÃO DO PAVIMENTO	51
4.1.1	Dimensionamento do Reforço (DNER PRO 011/079 B)	51
4.1.2	Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis/DNIT ...	52
4.1.2.1	Parâmetros de Tráfego	52
4.1.2.2	Parâmetros Estruturais (Dados Deflectométricos)	53
4.1.2.3	Parâmetros Funcionais	53
4.1.3	Dimensionamento das Reconstruções (Método do DNER)	54
4.1.4	Retroanálise	57
4.1.4.1	BAKFAA	57
4.1.5	Análise Mecanicista	58
4.1.5.1	Deflexão Total da Estrutura	59
4.1.5.2	Deformação Específica de Tração no Revestimento	59
4.1.5.3	Deformação Vertical no Subleito	60
4.1.5.4	ELSYM5	60
4.2	ORÇAMENTO	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO	66
5.1.1	Estudo de Tráfego	66
5.1.1.1	Número N - USACE	67
5.1.1.2	Número N - AASHTO	69
5.1.1.3	Volume Médio Diário Comercial (VMDc)	69
5.1.2	Estudos de Sondagem	70
5.1.3	Granulometria	72

5.1.4	Avaliação Funcional	73
5.1.4.1	Levantamento Visual Contínuo	73
5.1.4.2	<i>International Roughness Index (IRI)</i>	74
5.1.5	Avaliação Estrutural	74
5.1.6	Retroanálise	77
5.2	PROPOSTA PARA INTERVENÇÃO DO PAVIMENTO	79
5.2.1	Dimensionamento do Reforço (DNER PRO 011/079 B)	82
5.2.2	Soluções de Restauração	84
5.2.3	Dimensionamento das Reconstruções.....	88
5.2.3.1	Segmentos 16 e 19.....	88
5.2.3.2	Segmento 7.....	89
5.2.4	Análise Mecanicista dos Segmentos.....	90
5.2.4.1	Reconstruções	91
5.2.4.2	Restaurações.....	93
5.3	COMPARATIVO ECONÔMICO	97
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
	ANEXO A.....	106
A.1	– CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	106
A.2	– CENÁRIO 4 – CATÁLOGO DE SOLUÇÕES/DNIT.....	107
	ANEXO B.....	108
	RELATÓRIOS DE SONDAGEM	108
	APÊNDICE A	116
	VALORES OBTIDOS POR RETROANÁLISE	116
	APÊNDICE B	120
B.1	– RESULTADOS DO ELSYM5 PARA A SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO FSP + TSD+ H4	120
B.2	– RESULTADOS DO ELSYM5 PARA A SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO FSP + TSD+ H5	121
B.3	– RESULTADOS DO ELSYM5 PARA A SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO FSP + TSD+ H5	122
	APÊNDICE C	123
	COMPOSIÇÕES DE CUSTOS DE SERVIÇOS	123

1 INTRODUÇÃO

Pavimento é uma estrutura composta de camadas finitas localizadas acima da superfície de terraplenagem cuja função é resistir aos esforços causados pelo tráfego de diversas categorias de veículos, resistir aos efeitos oriundos da ação climática e oferecer mobilidade aos usuários de forma segura, confortável e econômica (BERNUCCI et al, 2006).

A estrutura de um pavimento é dimensionada de acordo com uma vida útil pré-estabelecida, porém, sua capacidade estrutural pode se modificar ao longo do tempo devido a fatores externos, como deficiências em drenagens ou excessos de cargas, acelerando assim o seu processo de deterioração (JOHNSTON, 2001).

Bernucci et al (2006) consideram que gastos demasiados em manutenção e reconstrução são inaceitáveis, pois atualmente dispomos de equipamentos de laboratório e de campo que permitem um bom entendimento dos materiais e de métodos de projeto teórico-empíricos. A existência de uma infraestrutura laboratorial e a formação de profissionais bem capacitados na área torna possível a investigação de materiais alternativos e novas tecnologias.

Durante a etapa de concepção de um projeto, o aspecto econômico é um fator que representa uma grande influência na solução adotada. Em um projeto rodoviário, a pavimentação é um componente que representa uma grande parcela do custo total, fazendo com que surja a necessidade de desenvolver diferentes técnicas e materiais a fim de otimizar esta etapa.

Nesse sentido, o presente estudo busca traçar um comparativo econômico entre diferentes soluções de projeto de restauração de pavimento para uma rodovia específica, a ERS-324. A rodovia em questão passará pelo processo de reciclagem de pavimento em um determinado segmento. Para este segmento será proposta uma alternativa de dimensionamento pelo método empírico-mecanicista, levando em conta dados levantados para a realização do projeto original.

Primeiramente o trecho em estudo foi caracterizado e então com dados do local e levantamento da situação atual do pavimento foi possível determinar uma solução alternativa em relação à que já está determinada a ser utilizada no local. Posteriormente foi realizado comparativo financeiro entre ambas soluções.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar uma alternativa de projeto pelo método empírico-mecanicista para a restauração da ERS-324, na qual foi utilizado o método da reciclagem.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o trecho em estudo;
- Analisar o procedimento para definição da dosagem utilizada na camada de base;
- Projetar uma solução alternativa para a restauração do pavimento tendo em vista características do pavimento existente;
- Comparar sob o aspecto econômico as alternativas para o local;

1.2 JUSTIFICATIVA

Um fator muito importante que deve ser levado em conta para que um país conquiste crescimento econômico e desenvolvimento é a sua logística. De acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT) de 2018 a malha rodoviária brasileira possui 1.735.411 quilômetros de extensão, sendo que 213.591 quilômetros apresentam pavimentação e o transporte de cargas em território brasileiro é feito em sua grande maioria (61,1%) pelo modal rodoviário.

O déficit de investimentos em infraestrutura de um país acarreta prejuízos e gera insegurança à população. Além disso, o crescente volume de tráfego aliado ao excesso de cargas agrava ainda mais o cenário em que as rodovias brasileiras se encontram, fazendo com que muitas apresentem um estado precoce de deterioração.

No momento em que uma rodovia não suporta mais o tráfego existente ou não apresenta mais condições aceitáveis em relação à segurança e conforto para os usuários, devem ser tomadas decisões e apresentar possíveis soluções. Todas as opções devem ser analisadas levando em conta a disponibilidade de materiais, tecnologia, mão de obra e orçamento disponível. Além disso, a questão da

durabilidade deve sempre ser considerada mesmo que a mesma possa fazer com que a solução se torne mais cara.

A decisão para adotar uma solução em uma rodovia deve levar em conta a limitação de recursos naturais, matéria prima e logística. Conseqüentemente uma alternativa sustentável pode ser uma decisão mais atraente. A reciclagem surge como uma alternativa que busca o reaproveitamento dos recursos e visa atender exigências técnicas e sustentáveis, sendo uma solução interessante em rodovias com um grau de deterioração elevado.

Por ser uma técnica que reaproveita o pavimento deteriorado em sua base, a reciclagem aceita diferentes graus de defeitos de pavimentação. No caso dos pavimentos reciclados *in situ* a frio com cimento, as camadas recicladas, apresentam um elevado grau de rigidez, muito superior à dos materiais que lhe deram origem, apresentando-se como uma boa solução onde existe a necessidade de aumentar a capacidade resistente das camadas subjacentes. Mas o aumento da rigidez leva a uma diminuição da resistência à fadiga. Assim, o material tratado com cimento apresenta uma tendência natural para a fissuração, a qual poderá ter repercussões à superfície. Além disso, em casos de pavimentos que apresentem uma estrutura muito heterogênea, a técnica da reciclagem pode apresentar-se como uma solução não viável de reabilitação.

Por ser um método que apresenta um elevado consumo de energia e necessita de uma grande mobilização de equipamentos, ocorrendo conseqüentemente uma grande emissão de substâncias poluentes para a atmosfera, a reciclagem pode ter um efeito contrário à uma de suas propostas, que é o reaproveitamento de recursos.

Visando esses aspectos, o presente estudo tem como objetivo apresentar uma alternativa para o projeto de reciclagem empregado na restauração da rodovia ERS-324, bem como apresentar um comparativo de custos. O segmento em estudo possui 27,53 quilômetros de extensão e localiza-se no trecho entre a intersecção com a ERS-406, passando pelo município de Trindade do Sul e terminando no município de Três Palmeiras. Foi a primeira vez que a reciclagem será empregada nesta rodovia, cujos dados foram disponibilizados e sua observação permitida pela empresa responsável pela execução.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTO

2.1.1 Definição e conceitos gerais

Bernucci et al. (p 9, 2006) definem pavimento desta maneira:

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

O pavimento é concebido com a finalidade de que sua estrutura receba as solicitações e as transmita de maneira aliviada para as camadas subjacentes, impedindo que ocorram deformações incompatíveis com as quais a estrutura foi projetada. Todas camadas do pavimento possuem funções específicas com o objetivo de fornecer aos usuários as condições de utilização ideais sob qualquer circunstância. De maneira geral, as solicitações externas geram esforços verticais, que podem ser reduzidos a compressão e cisalhamento, e horizontais, que dependendo do material podem gerar esforços de tração ou confinar outros materiais (BALBO, 2007).

De acordo com Balbo (2007), as camadas de um pavimento podem ser nomeadas, da maneira mais completa possível, em: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito.

O revestimento será o responsável por receber cargas dinâmicas e estáticas sem que sofra grandes deformações, desagregação ou perda de compactação. Normalmente, a camada de revestimento asfáltico é subdividida em demais camadas, seja por razões econômicas, técnicas ou construtivas (BALBO, 2007).

O Quadro 1 a seguir resume as diferenças entre as possíveis camadas de revestimento asfáltico:

Quadro 1: Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico

DESIGNAÇÃO	DEFINIÇÃO
Camada de rolamento	Camada superficial a qual fica diretamente em contato com cargas e ações climáticas (Capa de rolamento).
Camada de ligação	Camada intermediária, situa-se entre a capa de rolamento e a base (Binder).
Camada de nivelamento	Geralmente é a primeira camada aplicada em reforços. Corrige desníveis e afundamentos da pista (Reperfilagem).
Camada de reforço	Nova camada de rolamento, executada após anos de uso da pista (Recape).

Fonte: Adaptado de Balbo (2007).

A camadas de base tem como finalidade aliviar as pressões nas camadas adjacentes de solo, além de possuir uma função importante na drenagem subsuperficial do pavimento. A função de distribuir esforços para camadas inferiores pode fazer com que a espessura da base seja elevada, então, por razões construtivas e de custo, é preferível que esta camada seja dividida em duas, surgindo assim, a camada de sub-base que normalmente é mais econômica (BALBO, 2007). Em pavimentos rígidos é comum nomear a subcamada como sub-base, pois o material utilizado nessa camada é semelhante à sub-base de pavimentos asfálticos (BERNUCCI et al, 2006).

Na camada do subleito, os esforços serão absorvidos ao longo de sua profundidade, se dispersando geralmente em seu primeiro metro, portanto deve-se atentar principalmente em sua parte superior. Constitui-se de material natural consolidado e compactado. Em solos que apresentam pequena resistência a esforços verticais, pode-se construir uma camada acima do subleito com solo de melhor qualidade. Esta camada é chamada de reforço do subleito, cuja a função é tolerar maiores pressões. O uso do reforço do subleito não é obrigatório, porém o mesmo surge como uma alternativa mais econômica em relação à utilização de maiores espessuras em camadas como a de base e sub-base (BALBO, 2007).

De acordo com Balbo (2007), entre todas as camadas de pavimento citadas, é necessária a aplicação de um filme asfáltico. Esta aplicação pode possuir a finalidade de prover aderência, sendo denominada 'pintura de ligação' ou impermeabilização, sendo denominada 'imprimação impermeabilizante'.

Bernucci et al (2006) e Senço (2008) afirmam que, de forma geral, os pavimentos podem ser classificados tradicionalmente em flexíveis e rígidos.

O pavimento flexível define-se como aquele em as deformações, dentro de um limite, não causam o rompimento da estrutura. Geralmente, seu dimensionamento é

feito para esforços de compressão e de tração na flexão. Esses esforços são provocados pelo surgimento de bacias de deformação por onde passam as rodas dos veículos, causando na estrutura deformações permanentes e rompimento por fadiga (SENÇO, 2008). Neste tipo de pavimento, as cargas decorrentes do tráfego distribuem-se formando um campo de tensões concentrado próximo ao ponto de aplicação da carga (CNT, 2017).

O pavimento rígido define-se como uma estrutura pouco deformável, composta de concreto de cimento. Quando sujeita à deformação, a estrutura rompe por tração na flexão (SENÇO, 2008). Sendo assim, a espessura da mesma é calculada de acordo com a resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas inferiores (BERNUCCI et al, 2006). As placas de concreto podem apresentar armadura de aço e são responsáveis por absorver praticamente todas as tensões oriundas do tráfego, distribuindo-as em uma grande área (CNT, 2017). A Figura 1 ilustra a distribuição de tensões de acordo com a classificação de pavimento:

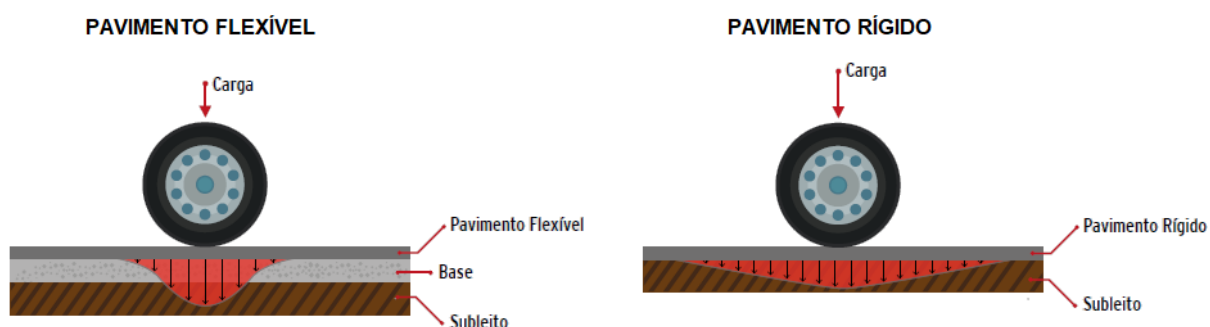


Figura 1: Distribuição de tensões em pavimentos flexíveis e rígidos
Fonte: Adaptado de CNT (2017).

Senço (2008) afirma ainda que a maior dificuldade de adotar essa classificação é a possibilidade de utilizar camadas flexíveis e rígidas em uma única estrutura de pavimento.

2.1.2 Pavimento semirrígido

Piarc (1991) define que o termo 'pavimento semirrígido' é utilizável para as estruturas que são constituídas por um revestimento betuminoso, apresentando pelo menos uma camada de material estabilizado ou tratado com ligante hidráulico.

Essa configuração faz com que a estrutura se comporte de maneira diferente com relação à distribuição de tensões no subleito. A estabilização do solo e brita com ligantes hidráulicos não fornece características de rigidez, embora produza módulos de elasticidade que podem ser semelhantes ao concreto de cimento e superiores em relação aos encontrados em concretos asfálticos, caracterizando assim um comportamento a meio termo entre as estruturas flexíveis e rígidas (BALBO, 2007). A Figura 2 traz as configurações normalmente encontradas em pavimentos semirrígidos:

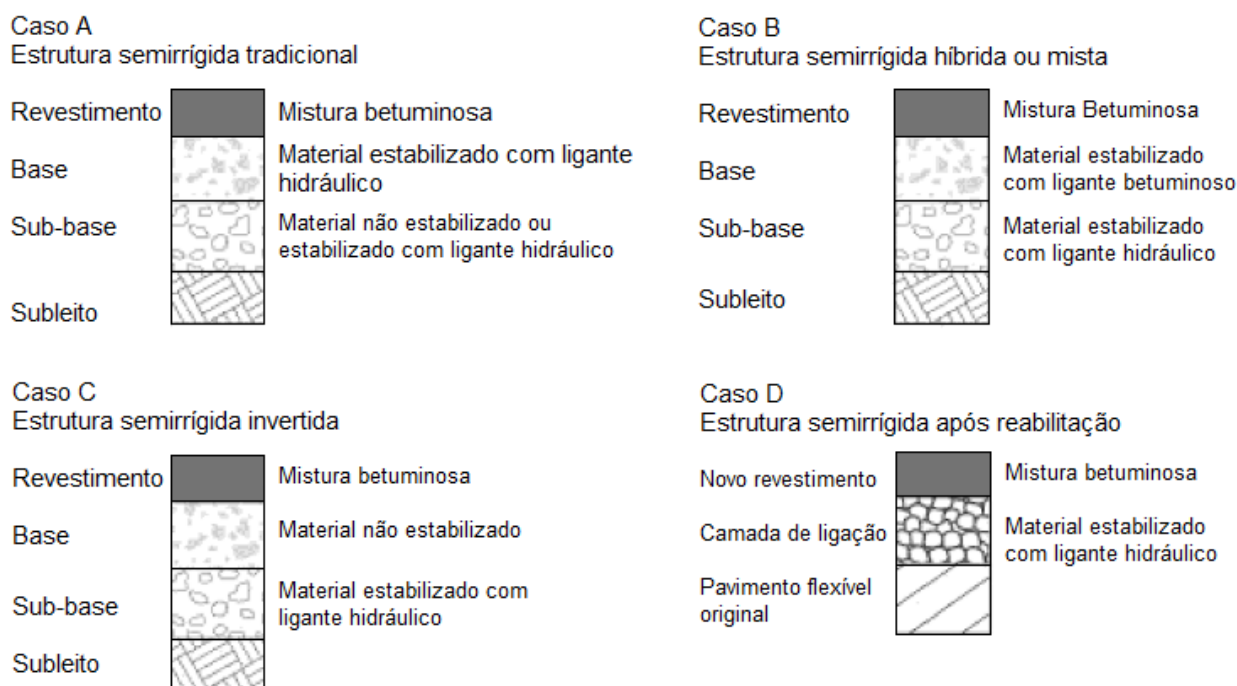


Figura 2: Configurações de pavimento semirrígido
Fonte: Balbo (2007).

Balbo (2005) afirma que, devido ao seu comportamento quase frágil e estando submetidas a ciclos repetidos de carregamento, as misturas estabilizadas com ligantes hidráulicos sofrem um intenso processo de fadiga. Conseqüentemente, apresentam uma acelerada fissuração fazendo com que a camada perca sua rigidez. Portanto, ao longo do tempo, um pavimento semirrígido se tornará um pavimento com características flexíveis.

2.1.3 Fadiga

Pinto (1991) descreve o fenômeno da fadiga como um processo de deterioração estrutural que um material sofre quando submetido a um estado sucessivo de tensões e deformações, resultando em trincas ou fratura completa após um número de repetições de carregamento.

A vida de fadiga de uma mistura betuminosa pode ser definida em termos de vida de fratura (N_f). A vida de fratura refere-se ao número total de aplicações de uma certa carga necessária à fratura completa da amostragem (PREUSSLER, 1983).

Segundo Motta (1991) a propagação de trincas no pavimento é o principal mecanismo de ruptura dos pavimentos brasileiros. Cita ainda, que é possível que se atinja o número 'N' de fratura de um pavimento em um período de tempo maior ou menor em relação ao determinado em projeto, devido a imprecisões na elaboração do mesmo.

Balbo (2007) ao citar modelos de fadiga aplicáveis aos projetos de pavimentação destaca que vários aspectos afetam o comportamento dos materiais à fadiga, entre eles: tipos de solo, natureza, características e distribuição granulométrica de agregados e os tipos de ligantes utilizados. Assim, os modelos de fadiga refletem situações específicas de formulação de materiais de pavimentação e seu uso necessita um estudo sensato e coerente do projetista do pavimento.

2.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Senço (2007) define dimensionamento de pavimento como a determinação de espessuras de camadas de forma que essa estrutura resista, transmita e distribua as pressões resultantes do tráfego de veículos ao subleito, de modo que o conjunto não sofra ruptura, deformações consideráveis ou desgaste superficial em excesso.

Balbo (2007) classifica os métodos de dimensionamento em três tipos:

- Método empírico: Resultado da modelagem estatística da evolução dos parâmetros físicos observados nos pavimentos em serviço;
- Método semi-empírico: Resultado da extrapolação e expansão de resultados empíricos com base em uma teoria analítica consistente. Um grande exemplo

deste método são os critérios que utilizam como parâmetro os valores do critério do *California Bearing Ratio* (CBR);

- Método empírico-mecanicista: Resultado da calibração de modelos teóricos com dados experimentais obtidos em campo e em laboratório. Como o escopo do trabalho trata apenas deste método, optou-se por detalhar apenas o mesmo.

2.2.1 Método empírico-mecanicista

O método empírico-mecanicista procura avaliar analiticamente o comportamento estrutural do sistema de camadas de um pavimento, onde as características mecânicas dos materiais utilizados podem ser obtidas por meio empírico, teórico ou de pista (BALBO, 2007).

Franco (2007) resume o procedimento para o dimensionamento empírico-mecanicista:

- Reunir os dados referentes aos materiais de pavimentação, ao tráfego e às condições ambientais;
- Correlacionar os dados de resistência dos materiais e tráfego em função das épocas sazonais e o comportamento dos materiais em função do tipo de carregamento;
- Escolher as espessuras das camadas e calcular as tensões e deformações considerando as diversas correlações obtidas;
- Relacionar os valores críticos de tensões e deformações com os danos que a repetição das cargas pode causar ao pavimento por meio de modelos de previsão;
- Verificar se as espessuras escolhidas satisfazem as condições impostas no dimensionamento.

Um fator muito relevante para o método de dimensionamento empírico-mecanicista é o conhecimento das características de cada um dos materiais utilizados na estrutura do pavimento, especialmente o módulo de resiliência das camadas (SALVIANO, 2015).

2.3 SOLO DE FUNDAÇÃO DOS PAVIMENTOS

2.3.1 Textura/Granulometria

Granulometria é o estudo do tamanho das partículas do solo e sua respectiva distribuição, em virtude de seu tamanho, dos grãos na massa do solo. A análise granulométrica de um solo é utilizada para determinar o tamanho e gradação das partículas que constituem o solo, sendo feita em amostras secas ao ar. Essa análise é feita por meio de peneiras estandardizadas, denominadas *Tyler* (BAPTISTA, 1978). O Quadro 2 a seguir resume a classificação dos grãos do solo para efeito de terminologia:

Quadro 2: Classificação do solo de acordo com o diâmetro aparente dos grãos

CLASSIFICAÇÃO		DIÂMETRO APARENTE
Pedregulhos		$2 \text{ mm} < d < 76 \text{ mm}$
Areias	Areia Grossa	$0,42 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$
	Areia Fina	$0,05 \text{ mm} < d < 0,42 \text{ mm}$
Siltes		$0,005 \text{ mm} < d < 0,05 \text{ mm}$
Argilas		$d < 0,005 \text{ mm}$

Fonte: Adaptado de Baptista (1978).

As areias ainda podem ser classificadas de acordo com sua compactidade e as argilas podem ser classificadas de acordo com sua plasticidade, podendo ser gordas ou magras, e de acordo com sua consistência (BAPTISTA, 1978). Os Quadros 3 e 4 resumem essas classificações:

Quadro 3: Classificação das areias de acordo com sua compactidade

AREIAS	GRAU DE COMAPACIDADE
Fofas ou soltas	$0 < G.C < 1/3$
Medianamente compactas	$1/3 < G.C < 2/3$
Compactas	$2/3 < G.C < 1$

Fonte: Adaptado de Baptista (1978).

Quadro 4: Classificação das argilas de acordo com sua consistência

ARGILAS	CONSISTÊNCIA
Muito moles	< 0
Moles	entre 0 e 0,5
Médias	entre 0,5 e 0,75
Rijas	entre 0,75 e 1
Duras	> 1

Fonte: Adaptado de Baptista (1978).

Baptista (1978) cita ainda que por se apresentarem misturados e em proporções variáveis, os solos são denominados de acordo com o tipo de solo cujas propriedades e características predominantes.

2.3.2 Umidade

A água que se encontra nos solos pode apresentar-se de três maneiras (BAPTISTA, 1978):

- Água gravimétrica (livre): circula livremente através dos poros do solo, sujeita à ação da gravidade, podendo ser eliminada por drenagem;
- Água higroscópica (adesiva): se encontra no solo seco ao ar livre;
- Água capilar: retida no solo por efeito de tensão superficial. Muitas vezes contraria a ação da gravidade e não pode ser retirada por drenagem simples.

Preussler (1983) afirma que a umidade é um fator que afeta o módulo resiliente dos solos granulares, diminuindo sua magnitude de acordo com o aumento da umidade de compactação. Motta (1991) destaca que a água afeta todas as obras que envolvem terra e, em particular, os pavimentos são muito afetados, seja pela chuva ou pelo lençol freático.

Uma das funções do pavimento é de se apresentar como uma estrutura relativamente impermeável, porém, por se apresentar como uma estrutura linear esbelta e estreita, sofrem trincamentos e permitem a entrada de água. Além disso, a estrutura do pavimento encontra-se em contato com os materiais laterais que não se encontram protegidos em relação à umidade (MOTTA, 1991).

2.3.3 *California Bearing Ratio* (CBR)

Bernucci et al (2006) e Senço (2008) citam que a resistência no ensaio CBR é uma combinação indireta da coesão do material com seu ângulo de atrito. O CBR 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 que possui um CBR = 100%.

No Brasil, o procedimento de ensaio CBR é conduzido pela norma DNER-ME 049/94, consiste basicamente nas seguintes etapas:

- Moldagem do corpo-de-prova: o solo ou material passado na peneira $\frac{3}{4}$ " é compactado na massa específica e umidade de projeto, em um molde cilíndrico 150mm de diâmetro e 125mm de altura, provido de um anel complementar de extensão com 50mm de altura;
- Imersão do corpo-de-prova: O corpo de prova é submerso em um depósito cheio de água por quatro dias. Durante a imersão é empregada uma sobrecarga-padrão de 10lbs sobre o corpo-de-prova. Realizam-se leituras por meio de um extensômetro a fim de calcular a expansão do material em relação à sua altura inicial;
- Penetração do corpo-de-prova: A penetração é feita através do puncionamento na face superior da amostra através de um pistão de aproximadamente 50 mm de diâmetro a uma velocidade de 1,25 mm/min. São registradas as pressões do pistão e os deslocamentos correspondentes, de forma a possibilitar a plotagem de uma curva pressão-penetração.

O ensaio CBR apresenta-se como um método empírico, porém com grande fundamento devido ao grande número de experiências já realizadas, tanto em campo como em laboratório, que comprovaram sua eficiência (BAPTISTA, 1978).

2.4 ESTUDO DE TRÁFEGO

2.4.1 Cálculo número N

Balbo (2007) define número 'N' como sendo a conversão de todas as solicitações de tráfego em um número de repetições equivalentes de um eixo-padrão com carregamento de 8,2 tf.

A obtenção do número 'N' se inicia por contagens volumétricas classificatórias realizadas no trecho em estudo, para vias já existentes, a fim de se obter o volume médio diário (VDM) anual. O tráfego atual, obtido através de pesquisas de campo, servirá como início para a estimativa do tráfego futuro. A projeção do tráfego futuro

deverá se basear em taxas de crescimento do tráfego e na ciência de possíveis alterações previstas para o sistema de transporte regional. Além disso, fatores como o crescimento da renda per capita possui ligação direta com o aumento da frota de veículos ou como a produção agropecuária pode representar uma variação sazonal desse fluxo de veículos. Portanto, as taxas de crescimento do tráfego poderão basear-se em séries históricas existentes, como por exemplo a dados socioeconômicos regionais. (BRASIL, 2006a)

A classificação da frota de veículos da forma mais detalhada possível, especialmente para veículos de carga, se mostrou necessária devido à grande diferença de efeitos gerados no pavimento pelos variados tipos de veículos que circulam nas rodovias. Além da classificação quanto ao tipo da frota, a classificação quanto ao carregamento da frota, surge de forma igualmente importante. É necessário conhecer as cargas por eixo com os quais o pavimento é solicitado, para que a distribuição da carga por eixo seja corretamente considerada e não haja imprecisões na projeção futura de tráfego. (BRASIL, 2006a)

O Fator de Equivalência de Carga (F_C) é um fator que converte o tráfego misto em um número equivalente de operações de um eixo padrão. Existem diversos conceitos utilizados para definir a equivalência de cargas e os métodos não dependem exclusivamente do eixo padrão utilizado. Os fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na perda de serventia e variam com o tipo do pavimento (flexível e rígido), índice de serventia terminal e resistência do pavimento. Já os fatores definidos pelo USACE, avaliam-se os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda) (BRASIL, 2006a). Os Quadros 5 e 6 apresentam as equações para o cálculo do fator de equivalência de carga para cada metodologia:

Quadro 5: Fatores de equivalência de carga da AASHTO

TIPOS DE EIXO	EQUAÇÕES (P em tf)
SIMPLES DE RODAGEM SIMPLES	$FC = (P/7,77)^{4,32}$
SIMPLES DE RODAGEM DUPLA	$FC = (P/8,17)^{4,32}$
TANDEM DUPLO (RODAGEM DUPLA)	$FC = (P/15,08)^{4,14}$
TANDEM TRIPLO (RODAGEM DUPLA)	$FC = (P/22,95)^{4,22}$

Fonte: Brasil (2006a).

Quadro 6: Fatores de equivalência de carga do USACE

TIPOS DE EIXO	FAIXAS DE CARGAS (t)	EQUAÇÕES (P em tf)
DIANTEIRO DIMPLES E TRASEIRO SIMPLES	0 - 8	$FC = 2,0782 \cdot 10^{-4} \cdot P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \cdot 10^{-6} \cdot P^{6,2542}$
TANDEM DUPLO	0 - 11	$FC = 1,5920 \cdot 10^{-4} \cdot P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \cdot 10^{-6} \cdot P^{5,484}$
TANDEM TRIPLO	0 - 18	$FC = 8,0359 \cdot 10^{-4} \cdot P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot P^{5,5789}$

Fonte: Brasil (2006a).

A partir da composição e projeção do tráfego, dos pesos das cargas transportadas e da sua distribuição nos diversos tipos de eixos dos veículos é possível determinar o número N. (BRASIL, 2006a)

Segundo Franco (2007), o número N pode ser obtido através da Equação (1):

$$N = V_t \cdot F_v \cdot F_r \quad (1)$$

Onde:

N: Número de repetições de carga de um eixo-padrão;

V_t : Volume total de veículos em todo período de projeto;

F_v : Fator de veículos;

F_r : Fator climático regional.

Turnbull et al. (1962 apud FRANCO, 2007) definem que para o cálculo do fator de veículos, é necessário que as cargas provenientes dos diferentes tipos de veículos sejam transformadas em cargas que sejam equivalentes, em poder destrutivo, à carga do eixo padrão. O fator de veículos é dado pela Equação (2):

$$F_v = F_e \cdot F_c \quad (2)$$

Onde:

F_v : Fator de veículos;

F_e : Fator de eixos: Corresponde ao número que, multiplicado pelo número de veículos, fornece o número de eixos correspondentes;

F_c : Fator de equivalência de carga: Corresponde ao número que, multiplicado pelo número de eixos que operam, fornece o número de eixos equivalentes ao eixo padrão.

2.5 DIAGNÓSTICO DOS PAVIMENTOS

2.5.1 Avaliação dos defeitos

De acordo com Gonçalves (2007), para que os defeitos de superfície sejam caracterizados de forma completa, é necessária sua classificação de acordo com o tipo de defeito, intensidade, gravidade, frequência e extensão.

Gonçalves (2007) define que a intensidade representa o grau que o defeito afeta e compromete a estrutura em que está presente. Pode ser classificada como baixa, média e elevada. A gravidade, por sua vez, é a medida do grau de evolução de um defeito.

A frequência de um defeito é a distribuição da ocorrência ao longo de um trecho de uma rodovia enquanto que a extensão mostra a área ocupada pelo defeito em uma determinada estaca. (GONÇALVES, 2007)

Os tipos de defeitos são apresentados a seguir:

- Fenda: Descontinuidades superficiais do pavimento, podendo ser de pequeno ou grande porte. Apresenta-se sob formas variadas como fissuras, trincas isoladas transversais, trincas isoladas longitudinais, trincas isoladas de retração, trincas interligadas tipo 'Couro de Jacaré' e trincas interligadas tipo 'Bloco' (DNIT, 2003a).
- Afundamento: São deformações permanentes onde ocorrem depressões na superfície do pavimento, podendo acompanhar solevamento. Se apresenta sob a forma de afundamento plástico, ocasionado pela fluência plástica das camadas do pavimento ou subleito, sendo acompanhado de solevamento ou de consolidação, causado pela consolidação diferencial de camadas do pavimento ou subleito, podendo estar acompanhado ou não de solevamento (DNIT, 2003a).
- Ondulação/Corrugação: São falhas onde ocorrem ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento (DNIT, 2003a). As causas desse defeito são: instabilidade da mistura betuminosa empregada, excesso de umidade das camadas inferiores, contaminação da mistura asfáltica ou retenção de água nas misturas asfálticas (BRASIL, 2006b).
- Escorregamento: Defeito em que ocorre o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento ocasionando a formação de fendas com formato de meia-lua (DNIT, 2003a). O escorregamento pode ser causado por ligação inadequada entre revestimento e a camada adjacente, pequena inércia do

revestimento devido sua espessura reduzida, má compactação da mistura asfáltica, fluência plástica do revestimento sob temperaturas elevadas (BRASIL, 2006b)

- Exsudação: Ocorre quando há migração do ligante através do revestimento ocasionando no excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento (DNIT, 2003a). Pode ocorrer devido a dosagem inadequada da mistura asfáltica ou se a temperatura do ligante estiver acima da especificada no momento da mistura (BRASIL, 2006b).
- Desgaste: Perda de agregados do pavimento, causando aspereza superficial do revestimento e causado por esforços tangenciais causados pelo tráfego (DNIT, 2003a).
- Painelas/buracos: São cavidades formadas no revestimento que podem atingir as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (DNIT, 2003a). É considerado um defeito grave pois compromete estruturalmente o pavimento ao permitir a infiltração de águas superficiais no interior da estrutura. Além disso, como afeta a irregularidade longitudinal do pavimento, afeta também a segurança dos usuários e o custo de transporte. As principais causas estão relacionadas ao trincamento por fadiga e desintegrações localizadas na superfície do pavimento (BRASIL, 2006b).
- Remendo: Painelas ou buracos preenchidos com camadas de pavimento. Pode ser caracterizado como remendo profundo quando ocorre a substituição do revestimento e, ocasionalmente, de uma ou mais camadas adjacentes ou remendo superficial quando ocorre uma correção, em área restrita da superfície do revestimento (DNIT, 2003a). Podem ser considerados defeitos quando há o emprego de material de má qualidade, condições ambientais agressivas, problemas construtivos ou solicitação intensa de tráfego e isso ocasione em desconforto aos usuários (BRASIL, 2006b).

2.5.2 Avaliação funcional

O desempenho funcional de um pavimento é a capacidade do mesmo de fornecer uma superfície com serventia adequada para seus usuários (BRASIL, 2006b). A avaliação funcional tem como função avaliar as condições de um pavimento

sob o ponto de vista do usuário a fim de se detectar os defeitos que merecem uma maior atenção (GONÇALVES, 2007).

A avaliação funcional de um pavimento pode ser classificada como subjetiva, que é aquela que se permite estabelecer o estado de degradação do pavimento a partir de conceitos qualitativos. Pode se apresentar também como uma avaliação objetiva, que é aquela que expressa a degradação do pavimento por meio de uma quantificação numérica e da distribuição da severidade dos defeitos apresentados (CNT, 2017).

2.5.2.1 Levantamento Visual Contínuo (LVC)

O Levantamento Visual Contínuo consiste em um processo de avaliação do pavimento em que os responsáveis pela avaliação realizam uma análise da condição da via com base nos defeitos encontrados, trafegando pela via com um veículo a uma velocidade de 40 km/h (CNT, 2017).

Este procedimento é regulamentado pela norma DNIT 008/2003 – PRO e são estabelecidos os seguintes índices:

- Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos (ICPF): consiste em um valor médio atribuído por cada avaliador. Esse valor é estimado com base na avaliação visual do pavimento do trecho (CNT, 2017).
- Índice de Gravidade Global Expedido (IGGE): Índice calculado através da média de cada avaliador conforme a Equação (3):

$$IGGE = (P_t \cdot F_t) + (P_{oap} \cdot F_{oap}) + (P_{pr} \cdot F_{pr}) \quad (3)$$

Onde:

P_t e F_t correspondem ao peso e frequência das trincas, respectivamente;

P_{oap} e F_{oap} correspondem ao peso e frequência referente ao conjunto de deformações, respectivamente;

P_{pr} e F_{pr} correspondem ao peso e a frequência em que as panelas ocorrem, respectivamente (CNT, 2017);

- Índice do Estado da Superfície do Pavimento (IES): Este índice configura como sendo uma síntese do ICPF e IGGE. Seu valor varia entre 0 e 10 (CNT, 2017).

2.5.2.2 *International Roughness Index (IRI)*

A irregularidade longitudinal é o conjunto dos desvios da superfície de um pavimento relação a um plano de referência. O conforto ao rolamento de um pavimento depende diretamente da irregularidade longitudinal da pista, que é função primordial dos afundamentos plásticos gerados pelo acúmulo de deformações permanentes sob repetições de cargas na estrutura do pavimento (GONÇALVES, 2007).

Para se efetuar a medida de parâmetros da irregularidade longitudinal existem diversos procedimentos, o Manual de Restauração dos Pavimentos do DNIT (BRASIL, 2006b) define-os da seguinte forma:

- Sistemas de medidas diretas do perfil: envolve medidas diretas ou manuais da geometria vertical do pavimento empregando equipamentos de topografia;
- Sistemas de medidas indiretas do perfil: as medidas do perfil são realizadas de maneira mecanizada;
- Sistemas baseados na reação dos veículos: baseia-se nos movimentos relativos entre os eixos de um veículo e sua carroceria;
- Sistemas de medida com sonda sem contato: baseia-se na reflexão de uma onda sonora ou a laser por um dispositivo situado no veículo.

2.5.3 Avaliação estrutural

A avaliação estrutural da estrutura de um pavimento está ligada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao dimensionamento do pavimento. Os defeitos estruturais provêm principalmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes (BERNUCCI et al, 2006).

HAAS et. al. (2015) definem que os métodos de avaliação estrutural de pavimentos podem ser denominados ensaios destrutivos e ensaios não-destrutivos. Os dados coletados são essenciais para avaliar a capacidade da estrutura em seções do pavimento e são muito utilizados na concepção de soluções de recuperação do pavimento, tais como dimensionamento de reforços.

2.5.3.1 Ensaio não destrutivos

Os ensaios não destrutivos, utilizados em conjunto com o levantamento de defeitos, apresenta-se como a maneira mais apropriada de determinar a situação estrutural de um pavimento. No meio técnico, dois métodos de avaliação não destrutiva são amplamente utilizados para medição em campo, a Viga Benkelman e *Falling Weight Deflectometer* (FWD) (BRASIL, 2006b).

2.5.3.1.1 Viga Benkelman

A viga Benkelman é um equipamento que mede as deformações elásticas através da aplicação de uma carga de 8,2 t transmitida ao pavimento através de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla (BERNUCCI et al, 2006). A norma DNER-ME 24/94 apresenta os seguintes passos para a realização do ensaio:

- Colocar a ponta de prova da viga Benkelman entre os pneus da roda dupla traseira do caminhão exatamente sob o seu eixo;
- Realizar a leitura inicial do extensômetro (L_i);
- O caminhão deve se afastar lentamente até aproximadamente 10 m de distância da ponta de prova ou até que a leitura do extensômetro não varie mais;
- Realizar a leitura final do extensômetro (L_f)

A Figura 3 mostra um esquema desse equipamento com o caminhão:

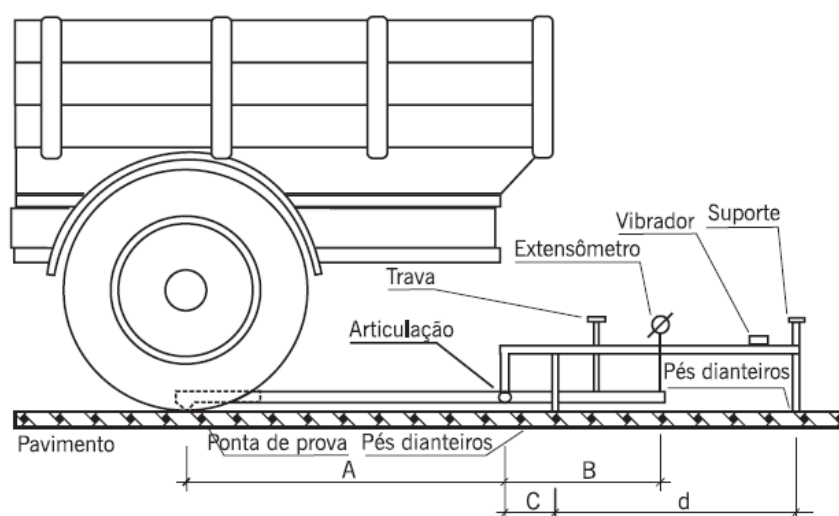


Figura 3: Esquema da Viga Benkelman
Fonte: Norma DNER ME 24/94.

A leitura final representa o descarregamento do pavimento e a deformação elástica do pavimento é representada pelo recuperado (BERNUCCI et al, 2006). Através da Equação (4) calcula-se a deflexão do:

$$d_0 = (L_i - L_f) \cdot K \quad (4)$$

Onde:

K: constante da viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor

2.5.3.1.2 *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Os equipamentos chamados de FWD ou deflectômetros de impacto são todos aqueles que transferem ao pavimento uma carga dinâmica de impacto. Seu funcionamento consiste em elevar um peso até uma altura pré-estabelecida e soltá-lo em queda livre até que o mesmo atinja uma placa apoiada sobre a superfície do pavimento. Esta placa transmitirá uma força de impulso à estrutura do pavimento e a resposta do pavimento a esse impacto é então registrada por sensores posicionados longitudinalmente em relação ao centro da placa (BRASIL, 2006b).

O equipamento possui um sistema totalmente automático e pode ser rebocado por veículos utilitários. Seu sistema de levantamento de dados é feito por um computador conectado aos sensores instalados na parte rebocada. (BERNUCCI et al, 2006). A Figura 4 mostra um exemplo de deflectômetro de impacto.

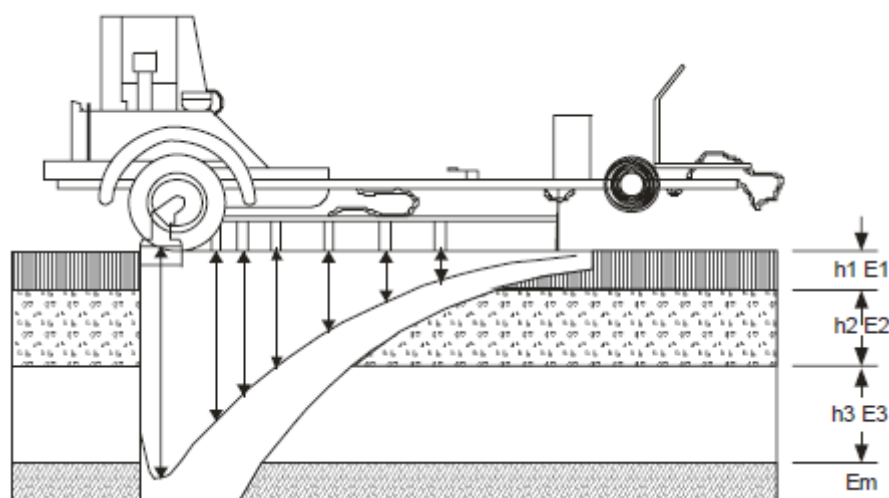


Figura 4: Representação de deflectômetros de impacto
Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos DNIT (2006b).

Este tipo de equipamento tem como vantagens a rapidez em seu processo e a capacidade de simular de maneira aproximada as características de magnitude e frequência de um tráfego passageiro real. Portanto, as deflexões obtidas por este método se aproximariam muito daquelas causadas por uma carga dinâmica real (BRASIL, 2006b).

O levantamento de deflexão figura como o principal método de avaliação estrutural não destrutiva. Porém, para que seja realizado um estudo eficaz utilizando as deflexões do pavimento é necessário também conhecimento das espessuras das camadas do pavimento (HAAS et al, 2015).

2.5.3.2 Ensaio destrutivos

Os métodos destrutivos avaliam a condição estrutural de cada camada do pavimento através de abertura de trincheiras ou poços de sondagem, para que sejam recolhidas amostras dos materiais presentes até o subleito a fim de se realizar ensaios de capacidade de carga. Esse procedimento só pode ser realizado em poucos pontos selecionados de cada segmento a ser avaliado (BERNUCCI et al, 2010).

Haas et al (2015) afirmam que as tecnologias de avaliação de pavimentos não destrutivos avançaram muito durante os últimos anos, porém ainda existem situações em que é necessário a coleta de amostras de material abrindo trincheiras através da estrutura pavimento.

Através da extração de amostras do pavimento é possível identificar os tipos de materiais das camadas inferiores, as espessuras de camadas e coletar amostras para realizar ensaios de laboratório. É possível determinar a massa específica e a umidade de cada camada a fim de avaliar possíveis excessos de umidade ou insuficiência de grau de compactação. Por meio da sonda rotativa são retirados os corpos de prova do revestimento asfáltico sendo possível avaliar o grau de envelhecimento do ligante (BERNUCCI et al, 2006). As Figuras 5 e 6 ilustram a retirada de corpos de prova através de sonda rotativa e a realização de poços de sondagem.



Figura 5: Extração de corpo de prova através de sonda rotativa (esq.) e corpos de prova (dir.)
Fonte: Autoria própria (2018).



Figura 6: Abertura de poço de sondagem
Fonte: Autoria própria (2018).

2.5.4 Segmentos homogêneos

Antes de se elaborar o diagnóstico propriamente dito, é necessário dividir cada trecho de rodovia em subtrechos homogêneos. Por definição, subtrechos homogêneos são segmentos que apresentam um desempenho uniforme tanto para a estrutura existente, quanto para a estrutura após a restauração (GONÇALVES, 2007).

Segundo Gonçalves (2007), a definição dos subtrechos homogêneos deve-se basear nos parâmetros que mais se relacionem ao desempenho futuro do pavimento

existente e ao desempenho futuro de eventuais medidas de restauração. Esses parâmetros são:

- Estado da superfície: Este parâmetro é de grande importância, pois o estado da superfície é o que resume os demais parâmetros. É obtido através da natureza, extensão e severidade dos defeitos existentes e das deformações plásticas associadas às irregularidades longitudinais e transversais.
- Estrutura existente: Através de seu tipo e em função das espessuras das camadas.
- Idade da última camada do pavimento: A degradação do pavimento decorre não só pela repetição das cargas oriundas do tráfego, mas também através da ação do intemperismo e das alterações das propriedades dos materiais que compõem a estrutura com o passar do tempo.
- Tráfego atuante: Obtido através do cálculo do Número N, podendo ser pesado ($N > 10^6$), médio ($10^5 < N < 10^6$), leve ($N < 10^5$).

Nóbrega (2003) afirma que no meio técnico é muito usual que se definam os segmentos homogêneos por meio da análise da poligonal gráfica da variação das deflexões reversíveis máximas. Devido à carência de métodos desenvolvidos no Brasil, utiliza-se o 'Método das Diferenças Acumuladas', recomendado pela AASHTO. Através desta metodologia, pode-se fazer a divisão do trecho em segmentos homogêneos de uma forma racional, podendo ser usado qualquer outro parâmetro que se considere relevante na análise. Por se tratar de uma análise essencialmente estrutural, a deflexão reversível máxima apresenta-se como parâmetro principal.

Segundo o DNER PRO 011/79 Procedimento B, a extensão máxima admitida para um subtrecho homogêneo é de 2000 m e, por razões construtivas, sua extensão mínima deve ser 200 m.

2.5.5 Formas de intervenção

2.5.5.1 Conservação

A conservação de pavimentos são serviços propostos a fim de preservar as características operacionais e técnicas de uma rodovia até que tal operação torne-se inviável economicamente (DNER, 1979).

A conservação ajuda a rodovia a exercer sua finalidade durante o tempo para o qual a mesma foi projetada. Não se deve considerá-la como um recurso temporário, mas um investimento de modo a evitar maiores gastos em restaurações onerosas (BRASIL, 2006b)

O Manual de Conservação Rodoviária – DNIT (2005) classifica as tarefas de conservação em 3 grupos:

- Conservação corretiva rotineira: São operações cujo objetivo é reparar defeitos pontuais na rodovia para que se restabeleça o funcionamento de componentes da rodovia a fim de propiciar conforto aos usuários;
- Conservação preventiva periódica: São operações realizadas periodicamente para impedir o aparecimento ou agravamento de defeitos;
- Conservação de emergência: São operações destinadas a reparar, repor, reconstruir ou restaurar segmentos de rodovias que tenham sofrido danos de modo repentino.

2.5.5.2 Restauração

São operações destinadas a reajustar a rodovia de forma permanente para as solicitações de tráfego futuras e atuais a fim de prolongar seu tempo de vida (BRASIL, 2005).

A finalidade da restauração é restituir o funcionamento da rodovia, conservando as características do projeto original, com exceção quanto à estrutura do pavimento que deve contar com um novo levantamento de cargas incidentes (DNER, 1979).

Prithvi e Rajib (1997) afirmam que a restauração é necessária quando uma rodovia apresentar um pavimento de baixa qualidade, desconforto aos usuários, baixo coeficiente de atrito em sua superfície, necessidade de manutenções excessivas ou estrutura que não atenda mais a capacidade de tráfego projetada.

Prithvi e Rajib (1997) citam ainda que cada US\$ 1,00 gasto durante uma restauração de um pavimento que perdeu 40% da qualidade inicial poderá se tornar US\$ 4,00 a US\$ 5,00 se a restauração for realizada quando o mesmo pavimento perder 80% de sua qualidade inicial.

2.5.5.3 Melhoramento/Reconstrução

Melhoramento segundo a norma DNER-TER 02-79 pode ser definida como uma operação que acrescente características novas em uma rodovia, caracterizando-se como complementação ou que altere as existentes, caracterizando-se modificação.

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos – DNIT (2006b), a reconstrução do pavimento é um meio de intervenção no qual ocorre a remoção da espessura do pavimento e a posterior construção de camadas estruturais novas. Este processo pode ser limitado a uma profundidade específica de modo que não atinja a espessura completa do pavimento, sendo denominado reconstrução parcial ou pode remover toda a espessura do pavimento, podendo atingir o subleito, sendo denominado reconstrução total.

A reconstrução é recomendada quando uma rodovia ultrapassar o tempo de vida de forma significativa sem que obras de restauração tenham sido executadas. Nesse estágio as deteriorações avançam rapidamente e as operações de restauração e conservação se tornam muito dispendiosas ao mesmo passo que fornecem uma pequena sobrevida (BRASIL, 2006b).

2.5.6 Retroanálise

Os métodos usados frequentemente para o dimensionamento de pavimentos foram desenvolvidos com base no empirismo. Portanto, apresentam uma limitação de uso, devido ao fato de que podem ser utilizados apenas em situações semelhantes ao do caso utilizado para seu desenvolvimento. A partir do surgimento de programas computacionais, o dimensionamento dos pavimentos começou a se basear na teoria da elasticidade, utilizando como principais parâmetros o Módulo de Resiliência e o coeficiente de Poisson (MEDINA, 1997).

Mesmo que se conheça os valores do Módulo de Resiliência da época do projeto e construção de um pavimento, esse valor tende a variar com o tempo, o uso e, em alguns casos, com a ação climática (BERNUCCI et al, 2006). A retroanálise surge então com o objetivo principal de fornecer dados das propriedades *in situ* das camadas dos pavimentos de forma que estes dados sejam utilizados para a restauração de um pavimento (VILLELA e MARCON, 2001).

O Módulo de Resiliência dos materiais empregados na pavimentação pode ser determinado de duas maneiras: em laboratório ou em campo (BALBO, 2007). A retroanálise possibilita a obtenção de módulos de resiliência das camadas dos pavimentos e do subleito a partir de levantamento de dados das bacias de deformação, desta forma, não se faz necessário a coleta de amostras de material a partir de ensaios destrutivos para determinação deste parâmetro em laboratório (BERNUCCI et al, 2006).

Existem vários softwares que realizam esse cálculo, entre eles o ELMOD da Dynatest do Brasil, o RETRAN2CL desenvolvido por Albernaz (1997) e BAKFAA da Federal Aviation Administration. Os dados obtidos por meio da retroanálise contribuem para a elaboração de projetos mais confiáveis e duráveis, além de possibilitar um ganho de tempo nos projetos e minimizar a coleta de amostras. Atualmente, a retroanálise é o procedimento de projeto de reforço que mais se desenvolve no mundo (BERNUCCI et al, 2006).

2.5.6.1 Módulo de Resiliência e Coeficiente de Poisson

Resiliência é a capacidade de um material não resguardar deformações depois de cessada a ação da carga. O Módulo de Resiliência (ou Módulo de Elasticidade) é uma constante elástica empregada e muito pesquisada atualmente para a formalização de análises de sistemas de camadas (BALBO, 2007).

Balbo (2007) afirma que o Módulo de Resiliência (M_R) é determinado através da relação entre tensão aplicada (σ) e a deformação sofrida (ϵ), conforme Equação (5):

$$M_R = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5)$$

O coeficiente de Poisson é um parâmetro necessário nas análises de sistemas de camadas elásticas. Seu valor é obtido pelo inverso da relação entre a deformação vertical imposta ao material pela deformação horizontal sofrida no corpo de prova durante um ensaio de compressão uniaxial (BALBO, 2007).

Segundo Nóbrega (2003), a menos que seja um caso de deformações radiais, sua influência nos valores das tensões e deformações calculadas é pequena. O valor

deste coeficiente é adotado para cada tipo de material quando se utiliza programas de cálculo de tensões e deformações em pavimentos.

2.6 RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

2.6.1 Objetivos

Momm e Domingues (1995) definem a reciclagem de pavimentos como a reutilização total ou parcial dos materiais existentes nas camadas de um pavimento, em que os materiais são reprocessados no estado em que se encontram após a desagregação ou tratados por energia térmica e/ou aditivados com ligantes rejuvenescedores, podendo contar também com recomposição granulométrica.

A reciclagem de pavimentos ao fazer uso e beneficiamento de materiais de pavimentos existentes diminui a geração de resíduos em comparação ao método tradicional de recuperação, trazendo benefícios ambientais (COSTA e PINTO, 2011). Além disso, ocorre a redução da distância de transporte e da demanda de materiais, prolongando o período de exploração das reservas existentes (BRASIL, 2006b).

Entre os benefícios oferecidos pela utilização da reciclagem, podem ser citados: os custos reduzidos de construção, a conservação de agregados, ligantes e energia, a preservação da geometria do pavimento existente e a ocorrência de menores atrasos aos usuários durante a etapa de execução (PRITHVI e RAJIB, 1997).

Com o reaproveitamento do asfalto antigo, ocorre a redução da utilização de asfalto novo. Uma mistura de concreto asfáltico que conta apenas com materiais virgens utiliza em torno de 6% de asfalto, enquanto que em uma mistura com reaproveitamento de material essa quantidade é reduzida para 1 a 3% (BRASIL, 2006b).

Para que o emprego da reciclagem surja como uma solução de restauração devem ser ressaltados fatores como: a observação dos defeitos do pavimento e suas possíveis causas, o histórico de intervenções, restrições quanto a geometria da rodovia, fatores ambientais, estudos de tráfego e o aspecto econômico. Após escolhido o método da reciclagem, deve-se escolher a melhor modalidade (a quente ou a frio) levando em consideração fatores como: características e condições dos

pavimentos existentes, disponibilidade de material virgem, extensão e localização do segmento e classe da rodovia. (BRASIL, 2006b)

2.6.2 Reciclagem a Frio

Reciclagem a frio é o termo utilizado para a recuperação e reutilização de materiais sem fazer o uso de calor. Esse processo dispõe de uma grande variedade de aplicações, variando de camadas com menores espessuras que abrangem principalmente material asfáltico até camadas mais espessas que podem incluir diferentes materiais do pavimento. Esse processo pode ser realizado 'em usina' ou '*in situ*' (WIRTGEN, 2012).

Durante a reciclagem a frio em usina, o material recuperado é transportado até um depósito onde ele é dosado por meio de uma unidade misturadora. Por possuir um maior controle de insumos, essa modalidade permite que os materiais sejam selecionados, tratados de antemão, armazenados e testados antes que a mistura seja feita. Consequentemente o nível de confiança e qualidade no produto final é maior se comparado com a reciclagem *in situ*. Entretanto, esse processo normalmente representa uma opção com um custo maior por metro cúbico de material processado, principalmente devido à necessidade de transporte de material (WIRTGEN, 2012).

Na reciclagem a frio '*in situ*', geralmente é utilizado um único equipamento que realiza a fresagem e a estabilização com material asfáltico ou aditivos químicos. O material é fragmentado, misturado com o agente estabilizante e redistribuído. Essa modalidade se torna vantajosa pois não é necessário que o material seja transportado para outro local. Além disso, um menor número de equipamentos se faz necessário e os mesmos são capazes de realizar o processo de forma rápida, evitando interrupções prolongadas de tráfego (BRASIL, 2006b).

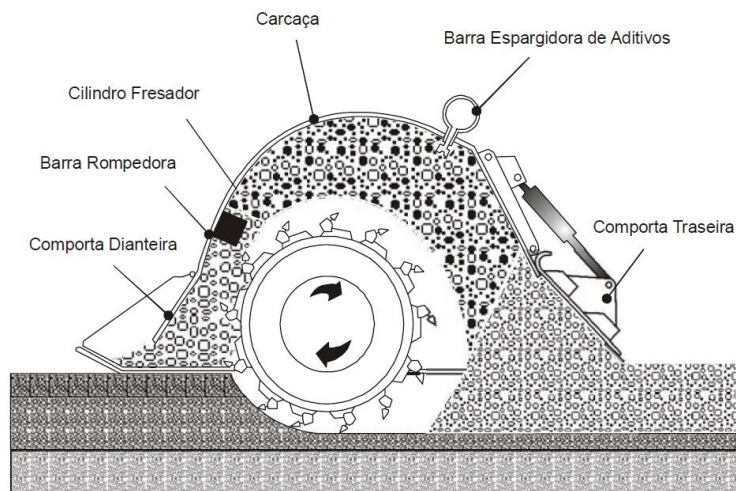


Figura 7: Dispositivo de reciclagem a frio *in situ*
Fonte: BRASIL (2006b).

De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos – DNIT (2006), a reciclagem a frio tem se mostrado uma solução mais eficiente em rodovias com baixo volume de tráfego, em acostamentos defeituosos ou no emprego do material reciclado como base estabilizada.

2.6.2.1 Reciclagem Profunda com Adição de Cimento

Segundo a especificação de serviço ‘Reciclagem profunda de pavimentos *in situ* com adição de cimento Portland’ – DNIT (2013) a reciclagem profunda de pavimento com adição de cimento Portland é um processo no qual se utilizam equipamentos próprios para a reconstrução parcial da estrutura de um pavimento. São utilizados materiais presentes na estrutura do pavimento, agregados adicionais, cimento Portland e água, em proporções especificadas em projeto, além de utilizar emulsão asfáltica para pintura de proteção.

É um método de reciclagem onde todo o revestimento e uma quantidade pré-determinada da camada subjacente é tratada a fim de produzir uma base estabilizada. Consiste em um processo de reciclagem a frio *in situ* em que diferentes tipos de aditivos, tal como o cimento Portland, são adicionados para obter uma base com melhores características. Basicamente são realizados quatro passos durante o processo: a fragmentação do material, a introdução de aditivos, a compactação e a construção de um novo revestimento (PRITHVI, RAJIB, 1997).

Se o material disponível no local não for suficiente para fornecer a espessura necessária para a nova base, novos materiais podem ser incluídos no processo. Além

disso, agregados podem ser adicionados ao material no local para que se obtenha uma granulometria desejada. Por ser possível tratar a maioria das patologias, pode se apresentar como um método muito vantajoso (PRITHVI, RAJIB, 1997).

2.6.3 Equipamentos e processos executivos

Durante o processo de reciclagem do pavimento existem algumas verificações relacionadas à amostragem, aos testes e às especificações que devem ser compreendidas e atendidas. Dentre estas verificações pode-se citar: a granulometria da mistura, a umidade ótima da mistura, a profundidade de corte, a calibração dos equipamentos, a densidade do material compactado, os procedimentos de compactação e o controle da taxa de aplicação das adições (ARRA, 2001).

Wirtgen (2002) indica normas para dosagem, controle de obras e fiscalização dos procedimentos, sendo elas descritas no Quadro 7:

Quadro 7: Normas para dosagem, fiscalização e ensaios.

PROCEDIMENTO	METODOLOGIA		
	Brasileira	Americana	Alemã
1 - DOSAGEM DA MISTURA			
1.1 - Determinação da curva granulométrica	DNER-ME 080/94	AASHTO-T 88	DIN-18 123
1.2 - Enquadramento na faixa granulométrica	DNER-ES 303/97	AASHTO-M 147	ZTV T-StB 95
1.3 - Determinação do teor de cimento	ABNT NBR 12253/92	ASTM D 2901	TP BF-stB, Part B. 11.6
1.4 - Determinação da umidade ótima/densidade máxima	ABNT NBR 12023/90	AASHTO-T 19	DIN-1048, Part 1
1.5 - Moldagem e cura de corpos de prova	DNER-ME 202/94	AASHTO-T 126	DIN-1048, Part 5
1.6 - Avaliação da resistência	DNER-ME 201/94	AASHTO-T 22	DIN-18 136
1.7 - Determinação do coeficiente de permeabilidade	ABNT NBR-13292	ASTM 293	DIN1048, Part 5
2 - ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO			
2.1 - Execução, critérios de aceitação/rejeição	DER/P-ES-P 33/05	-	-
3 - ENSAIOS DE CAMPO			
3.1 - Moldagens de CP (material coletado na pista)	DNER-ME 202/94	AASHTO-T 126	DIN - 1048, Part 5
3.2 - Avaliação da resistência (idem)	DNER-ME 201/94	AASHTO-T 22	DIN - 18 136
3.3 - Determinação do grau de compactação	DNER-ME 092/94	AASHTO-T 191	ZTV T - StB 95
3.4 - Avaliação deflectométrica	DNER-ME 024/94	ASTM-4694	-

Fonte: WIRTGEN (2002).

De acordo com Wirtgen (2012) não se deve realizar trabalhos sob condições de névoa, umidade elevada, chuva ou se a temperatura ambiente estiver abaixo de 5° C. Além disso, o lançamento de agentes estabilizantes deve ser evitado se as condições de vento afetarem a operação.

Antes de iniciar a operação, deve ser programada qual extensão do serviço será executada, além de verificar a presença de qualquer material estranho em toda área da pista e remover acúmulos de água. Se necessário, deve-se realizar a pré-fresagem de pontos elevados na pista. Durante a operação deve garantir-se que o tráfego flua de maneira confortável, facilitando o fluxo de veículos e adotando os cuidados necessários para a proteção dos usuários (WIRTGEN, 2012).

Wirtgen (2012) afirma que a aplicação de agentes estabilizantes pode ser efetuada de três maneiras:

- Espalhar uma camada uniforme na superfície preparada antes da reciclagem. Este processo pode ser feito por meio de uma espalhadora mecânica ou manualmente, como pode ser visto na Figura 8. Quando feito manualmente, deve-se atentar para que os espaçamentos entre as bolsas sejam iguais a fim de atender a taxa especificada em projeto;
- Formar uma pasta, misturando o agente estabilizante com água para que seja injetada e lançada pela recicladora;
- Pré-misturar em usina o agente estabilizante com material importado e posteriormente espalhar na pista.



Figura 8: Aplicação do agente estabilizante: manual (esq.) e mecânica (dir.)
Fonte: OLIVEIRA (2007).

O tempo entre o processo de mistura do material reciclado com o agente estabilizante e o final da compactação varia conforme o tipo de agente estabilizante. Se for utilizado cimento Portland, não se deve exceder 3 horas (WIRTGEN, 2012).

A modalidade de reciclagem e a profundidade de corte são definidas em função de levantamentos de tráfego, das características do pavimento existente e pela capacidade de suporte do subleito. Além disso, deve-se avaliar o custo e a disponibilidade dos materiais utilizados (OLIVEIRA, 2007). A profundidade de corte deverá ser aferida pelo menos uma vez a cada 100 metros do comprimento de corte (WIRTGEN, 2012).

Segundo Oliveira (2011), a quantidade de material fresado na mistura depende da espessura do revestimento existente e a presença em excesso desse material pode dificultar a compactação. Se a mistura apresentar mais de 50% de seu peso em material fresado, deve-se reduzir previamente a espessura do pavimento existente por meio de fresagem. Interrupções durante o processo, mesmo que por um intervalo de tempo pequeno, ocasionam a formação de juntas transversais. Essas juntas representam uma alteração na uniformidade do material reciclado. Deve-se procurar minimizar essas interrupções e, caso elas sejam inevitáveis, tratar as juntas formadas (OLIVEIRA, 2003).

Após a passagem da recicladora deve-se iniciar o processo de pré-compactação, confinando a mistura reciclada de modo que se evite perdas de umidade. O equipamento de compactação segue prontamente atrás da recicladora, a consistência à mistura. Após a etapa de pré-compactação, a conformação inicial dos perfis transversais e longitudinais é realizada com o uso de motoniveladora (DNIT, 2013). A superfície deverá ser tratada com uma aplicação de água ou emulsão betuminosa diluída após tomar a forma final e então rolada com um rolo sobre pneus. A superfície concluída deverá ser mantida continuamente úmida por irrigação frequente e não deverá apresentar laminação, segregação de agregados ou corrugações. (WIRTGEN, 2012)



Figura 9: Sequência de execução da reciclagem de pavimentos
Fonte: Adaptado de WIRTGEN (2012).

3 PROJETO DE RECICLAGEM

O presente estudo depende diretamente de dados que foram cedidos pela empresa prestadora de serviços no trecho em estudo e, de modo a preservar a mesma, sua denominação será Empresa Prestadora de Serviços. De modo semelhante, a empresa que realizou os estudos necessários e o projeto de restauração será denominada por Empresa Projetista.

3.1 LOCALIZAÇÃO

O segmento em estudo localiza-se na ERS-324, no norte do estado do Rio Grande do Sul. O segmento possui 27,53 km de extensão, iniciando na estaca 56+000 na intersecção com a rodovia ERS 406, passando pelo município de Trindade do Sul e terminando na estaca 83+530 no município de Três Palmeiras.

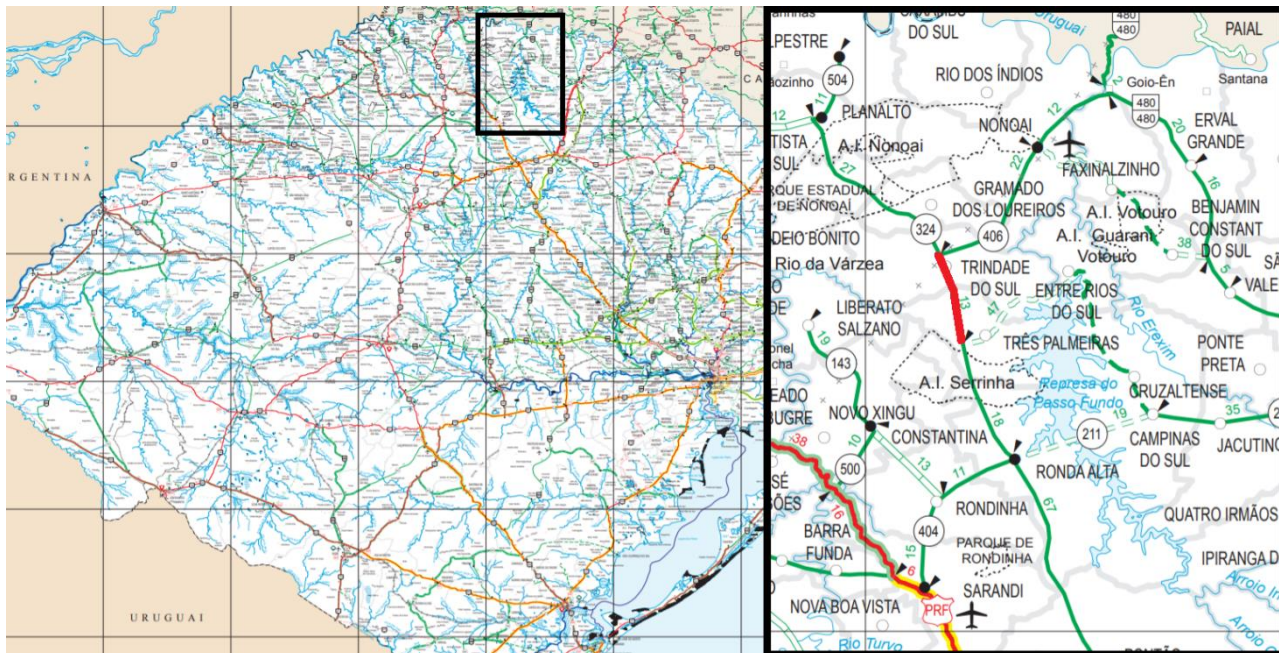


Figura 10: Localização do segmento
Fonte: DNIT (2018).

3.2 PROJETO DA CAMADA DE BASE RECICLADA

Inicialmente, o projeto de reciclagem previa a reciclagem do pavimento por recicladora móvel, em uma espessura de 18 cm, com incorporação de 13 cm de camada granular existente e incorporação de 5 cm de revestimento existente, com adição de 20% de brita comercial e 2% de cimento Portland.

Para obter amostras representativas do pavimento *in situ*, a primeira etapa consistiu em selecionar 16 pontos e em cada um deles foi considerada a fresagem prévia de 3 e 5 cm do revestimento existente, totalizando 32 janelas para coleta de material. Após a fresagem, uma máquina recicladora realizou o corte da estrutura para que a coleta do material fosse realizada (Figura 11).



Figura 11: Corte do pavimento (esq.) e material a ser coletado (dir.)
Fonte: Autoria própria (2018).

Para a devida correção granulométrica da base reciclada foi realizada a análise granulométrica individual de cada amostra do material. A partir das coletas foi constatado para o material se enquadrar na Faixa II DNIT 167/2013 ES, de modo a atender às especificações de projeto, deveria ser realizada a fresagem contínua prévia de 3 cm bem como a adição de 31% (em média) de agregado miúdo (pó de pedra).

Desta forma, 4 amostras foram selecionadas para consecução dos ensaios de compactação na energia modificada (amostras 11, 18, 26 e 29 já estabilizadas granulometricamente). O Quadro 8 apresenta o resumo dos resultados obtidos:

Quadro 8: Resumo dos resultados de RCS e RT aos 7 dias de cura

Amostr a	TEOR DE CIMENTO (%)	RCS (MPa)	DESVIO PADRÃO RCS (MPa)	COEF. DE VARIACÃ O RCS (%)	RT (MPa)	DESVIO PADRÃO RT (MPa)	COEF. VARIACÃ O RT (%)
11	1	1,34	0,19	14	0,13	0,13	15
	2	1,79	0,13	7	0,21	0,21	13
	3	1,99	0,21	11	0,24	0,24	6
29	1	1,21	0,08	7	0,14	0,14	9
	2	2,10	0,04	2	0,29	0,29	5
	3	2,35	0,23	10	0,31	0,31	5
18	1	1,55	0,13	8	0,18	0,18	5
	2	2,52	0,03	1	0,42	0,42	4
	3	3,05	0,13	4	0,51	0,51	7
26	1	1,02	0,08	7	0,12	0,12	6
	2	1,53	0,11	7	0,19	0,19	4
	3	1,98	0,13	7	0,23	0,23	4

Fonte: Cedido pela Empresa Prestadora de Serviços (2018).

A partir deste conjunto de resultados foi possível estimar o teor de cimento que atenderia os requisitos da ESP 167/2013, ou seja, resistência à compressão simples entre 2,1 e 2,5 MPa e resistência à tração entre 0,25 e 0,35 MPa, ambos para 7 dias de cura. O teor de cimento que atende ambos critérios encontrado foi de 2,5% em massa em relação à massa seca do material (material fresado, base granular existente e agregado miúdo). O Quadro 9 apresenta o resumo dos parâmetros de projeto, considerando 18 cm de espessura de reciclagem.

Quadro 9: Resumo dos parâmetros do projeto de reciclagem

FAIXA	Faixa II - DNIT 167/2013 ES
TEOR DE AGREGADO MIÚDO (PÓ)	31%
MASSA DE AGREGADO MIÚDO (kg/m ³)	738,11
MASSA DE AGREGADO MIÚDO (kg/m ²)	132,86
VOLUME DE AGREGADO MIÚDO (m ³ /m ³) (ρpó = 1830 kg/m ³)	0,403
VOLUME DE AGREGADO MIÚDO (m ³ /m ²) (ρpó = 1830 kg/m ³)	0,073
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	Proctor Modificado
TEOR DE UMIDADE MÉDIO (%) (SEM CIMENTO)	6,67
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÉDIA (g/cm ³) (SEM CIMENTO)	2,382
TEOR DE UMIDADE MÉDIO (%) (COM CIMENTO)	6,80
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÉDIA (g/cm ³) (COM CIMENTO)	2,381
TEOR DE CIMENTO EM MASSA (%)	2,50%
TIPO DE CIMENTO	CPII F32
TEOR DE CIMENTO (kg/m ³)	59,5
TEOR DE CIMENTO (kg/m ²)	10,71
RCS (MPa) 7 DIAS DE CURA	2,16
RT (MPa) 7 DIAS DE CURA	0,30

Fonte: Cedido pela Empresa Prestadora de Serviços (2018).

3.3 PROCESSO EXECUTIVO DA RECICLAGEM DE PAVIMENTO

A estrutura de Reciclagem do Pavimento projetada foi executada em toda a plataforma com uma espessura de 18 cm, sendo 13 cm de incorporação da base granular existente e 5 cm de incorporação do revestimento existente da pista, com adição de 31% de agregado miúdo e adição de 2,5% de cimento Portland. Em locais em que o revestimento existente apresentava espessura maior que 6 cm a espessura excedente de CBUQ da pista foi fresada previamente.

A execução da reciclagem a frio *in situ* do pavimento flexível existente iniciou-se com a distribuição do agregado novo através de um caminhão basculante na taxa de 132,36 kg/m² para corresponder a 31% do peso na espessura de 18 cm a fim de corrigir granulometricamente a base a ser reciclada. Posteriormente uma motoniveladora realizou a uniformização do agregado distribuído

Na sequência, com caminhão dotado de uma barra distribuidora de cimento foi realizada a distribuição do Cimento Portland na taxa de 10,71 kg/m² a fim de corresponder a 2,5 % do peso na base reciclada de 18 cm (Figura 12).



Figura 12: Uniformização do agregado miúdo (esq.) e distribuição de cimento (dir.)
Fonte: Autoria própria (2018).

Após a distribuição do agregado e do cimento Portland na pista, a recicladora realizou o corte da estrutura existente (base e revestimento somados às adições) na espessura pré-estabelecida de 18 cm. A máquina recicladora da marca Wirtgen modelo WR 2400, realizou o processo a uma velocidade aproximada de 7,0 mts/min em operação. Acoplada a recicladora um caminhão pipa fornecia água para a mistura

na quantidade de aproximadamente 2,0%, de umidade. A água utilizada no processo deveria ser livre de substâncias como sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica que poderiam contaminar a nova base reciclada e prejudicar seu desempenho estrutural. Durante esse processo ocorreu a combinação do pavimento existente com o agregado novo e o cimento Portland, e a posterior restituição desse material na pista feita pela própria máquina recicladora (Figura 13).



Figura 13: Recicladora realizando o corte do pavimento
Fonte: Autoria própria (2018).

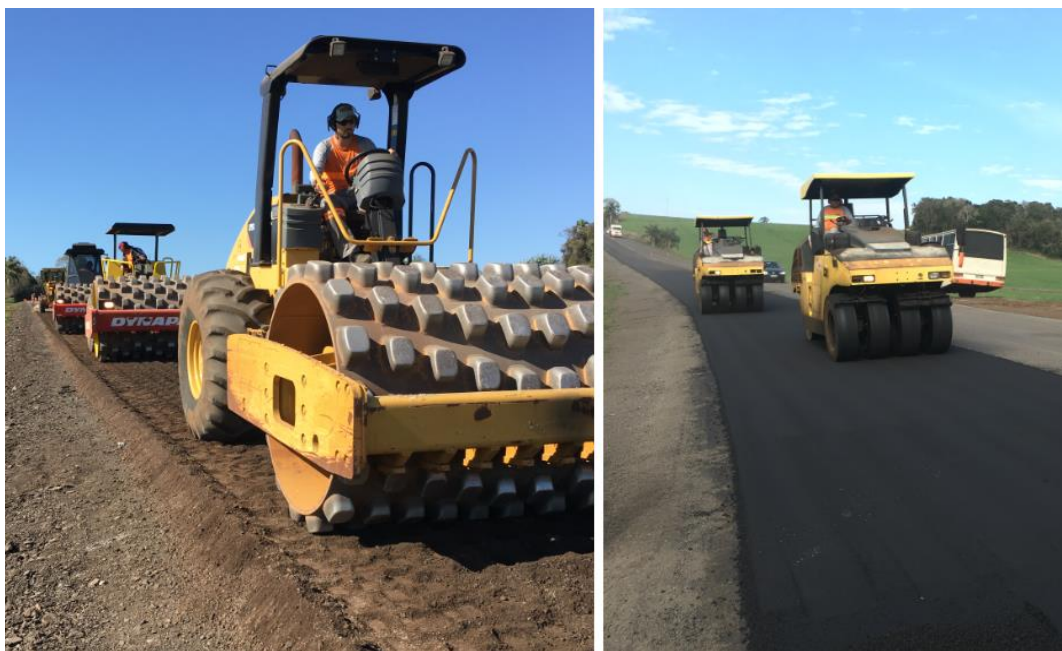
Imediatamente após a realização do processo da reciclagem, foi iniciada a compactação inicial da base do pavimento reciclado através de três rolos vibratórios corrugados até se obter o nível de compactação desejado (Figura 14). Essa compactação imediata ao processo de reciclagem é feita para que a umidade presente na mistura não evapore, o que pode ser prejudicial para a qualidade da compactação realizada e conseqüentemente ocasionar problemas na estrutura.

Após a realização da compactação inicial da nova base do pavimento, foi executado o acabamento através da regularização da superfície com uma motoniveladora para se obter a da geometria da pista. Posteriormente, foi realizada a compactação final da base com rolo liso e rolo de pneu até que fosse obtido o grau de compactação desejado.

Para proteger a camada reciclada e possibilitar a liberação do tráfego até que o revestimento asfáltico fosse executado, foi realizada uma camada de tratamento superficial simples (TSS). A camada de tratamento superficial simples foi executada através uma pintura de ligação com emulsão asfáltica aplicada com o uso de um caminhão espargidor, posteriormente foi distribuído agregado pétreo através de um

caminhão distribuidor de agregado, e finalmente, foi executada a compactação com o uso de rolo de pneu e rolo liso.

Finalizando a restauração do pavimento foi executado o revestimento de CBUQ, aplicada em duas camadas de 4,0 cm cada, totalizando 8,0 cm. Para promover aderência entre as camadas foi aplicado um banho de ligação com emulsão asfáltica, conforme Figura 14.



**Figura 14: Compactação do material reciclado (esq.) e execução do revestimento (dir.)
Fonte: Autoria própria (2018).**

4 METODOLOGIA

4.1 PROPOSTA PARA INTERVENÇÃO DO PAVIMENTO

4.1.1 Dimensionamento do Reforço (DNER PRO 011/079 B)

Para a definição da solução estrutural para o trecho em estudo, está sendo proposto o dimensionamento do reforço estrutural utilizando os procedimentos preconizados pela norma DNER PRO 011/79 B, que se baseia no critério de deformabilidade dos pavimentos flexíveis, expressos na prática pela medida de deflexões recuperáveis, onde a experiência tem demonstrado que existe uma correlação entre a magnitude das deflexões (e do raio de curvatura correspondente) e o aparecimento de falhas nos pavimentos flexíveis.

A norma supracitada considera o comportamento de um pavimento que ao longo de seu período de vida é solicitado não só pelo tráfego, que o submete a esforços diversos de compressão, cisalhamento e flexão, mas também pelos fatores de clima, como precipitações pluviométricas e mudanças de temperatura.

Para que não surjam trincas no revestimento, é necessário manter a deflexão, D , abaixo de um valor máximo, chamado Deflexão Admissível (D_{adm}), e o raio de curvatura (R_c), do pavimento, acima de certo valor mínimo. Isto garante que a tensão de tração σ_t , correspondente à deformação ϵ_t , na face inferior do revestimento, não ultrapasse um determinado valor, acima do qual o revestimento betuminoso romper-se-á por fadiga.

O Quadro 10 apresentado a seguir constitui o critério indicado na norma técnica DNER-PRO 011/79 B para a avaliação geral das medidas corretivas nos pavimentos, onde:

D_c : deflexão característica de projeto, em 10-2 mm;

R_c : raio de curvatura, em m;

D_{ADM} : deflexão admissível, em 10-2 mm.

Quadro 10: Critérios utilizados na norma DNER PRO 011/79 B

Hipótese	Dados deflectométricos	Qualidade estrutural	Estudos complementares	Critério para cálculo de reforço	Medidas corretivas
I	$D_c \leq D_{ADM}$	BOA	NÃO	-	Apenas correções de superfície
	$R_c > 100$				
II	$D_c > D_{ADM}$	$D_p \leq 3 D_{ADM}$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
	$R_c > 100$	$D_p > 3 D_{ADM}$ MÁ		Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_c \leq D_{ADM}$	REGULAR PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
	$R_c < 100$				
IV	$D_c > D_{ADM}$	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
	$R_c < 100$				
V	-	MÁ (O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas.)	SIM	Resistência	Reconstrução

Fonte: DNER (1979a).

4.1.2 Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis/DNIT

O Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) considera os seguintes parâmetros em sua metodologia:

4.1.2.1 Parâmetros de Tráfego

Os métodos de projetos de pavimentação e restauração dos pavimentos indicados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) objetivam se adequar uma estrutura de pavimento às solicitações de tráfego previstas, de forma a permitir o adequado deslocamento dos usuários pelas rodovias.

Devido à complexidade envolvida na determinação do número 'N' de uma rodovia, a metodologia do catálogo utiliza o Volume Médio Diário Comercial (VMDc) como parâmetro, pois considera o mesmo um parâmetro de fácil obtenção e diretamente relacionado ao tráfego equivalente.

Portanto, têm-se como premissa do catálogo de soluções proposto os valores de VMDc dividido em cinco faixas distintas como pode ser observado no Quadro 11:

Quadro 11: Categoria de veículos para estudos econômicos

FAIXA	VMDc	DESCRIÇÃO	NUSACE PARA 10 ANOS ASSOCIADO
1	Menor que 800	Tráfego Baixo	$1,3 \times 10^7$
2	800 a 1600	Tráfego de Baixo a Médio	$2,3 \times 10^7$
3	1600 A 2400	Tráfego Médio	$3,9 \times 10^7$
4	2400 A 3200	Tráfego Alto	$5 \times 2 \times 10^7$
5	Maior que 3200	Tráfego Muito Alto	$1 \times 3 \times 10^8$

Fonte: DNIT (2014).

4.1.2.2 Parâmetros Estruturais (Dados Deflectométricos)

Outro parâmetro utilizado na composição do catálogo de soluções é a relação entre a deflexão característica e a deflexão admissível. Essa relação é utilizada por representar melhor a condição estrutural do pavimento como um todo, independente de variações no volume de tráfego e com possibilidade de se adequar o horizonte de análise ao se recalculer a deflexão admissível.

Assim, a relação entre a deflexão característica (D_c) e a deflexão admissível (D_{ADM}) é dividida em quatro faixas de diferentes níveis de esforços para recuperação estrutural do pavimento em conformidade com a norma DNER PRO 11/79 B:

- Faixa 1: $D_c/D_{ADM} < 1,1$ – Pavimento sem problemas estruturais;
- Faixa 2: $1,1 < D_c/D_{ADM} < 1,5$ – Pavimento com deficiência estrutural leve;
- Faixa 3: $1,5 < D_c/D_{ADM} < 2,0$ – Pavimento com problemas estruturais;
- Faixa 4: $D_c/D_{ADM} > 2,0$ – Pavimento com grandes problemas estruturais;

4.1.2.3 Parâmetros Funcionais

Em relação aos parâmetros funcionais, o catálogo utiliza os parâmetros referentes a irregularidade longitudinal e o trincamento.

De acordo com o Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) a irregularidade longitudinal é o parâmetro do pavimento que apresenta maior influência nos custos operacionais dos veículos e, portanto, é de fundamental importância para o planejamento e projeto de manutenção de uma rede

viária. Além disso, o grau de trincamento de um pavimento tem influência direta nos custos de correções de manutenção e permite identificar o momento em que a taxa de deterioração de um pavimento irá ocorrer de forma mais significativa em função da infiltração de água na infraestrutura.

Com relação aos parâmetros de irregularidade longitudinal, é realizada a divisão em três faixas de forma a distinguir os pavimentos em suas condições:

- Faixa 1: IRI < 2,5 m/km – Pavimento sem problemas funcionais (ótimo e bom);
- Faixa 2: 2,5 < IRI < 4 m/km – Pavimento com certas deficiências funcionais (regular);
- Faixa 3: IRI > 4 m/km – Pavimento com grandes problemas funcionais (ruim).
- Os valores de trincamento foram separados em duas faixas:
- Faixa 1: TR < 10% - Trincamento baixo, sem problemas funcionais;
- Faixa 2: TR > 10% – Trincamento que pode indicar problemas funcionais.

4.1.3 Dimensionamento das Reconstruções (Método do DNER)

O Método do DNER (SOUZA, 1981) tem como premissa básica fundamentar-se no critério do CBR, apresentando como modo de ruptura, o acúmulo de deformações plásticas causadas pelos esforços cisalhantes que ocorrem no subleito e nas demais camadas granulares do pavimento (BALBO, 2007).

Nele, definem-se as espessuras equivalentes de pavimento necessárias para a proteção das camadas subjacentes em função do Índice de Suporte Califórnia. Já as espessuras de cada camada são dadas em função de seus coeficientes de equivalência estrutural (BALBO, 2007).

Quadro 12: Coeficientes de equivalência estrutural - K

COMPONENTES DOS PAVIMENTOS	COEFICIENTE K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo-simento (resistência à compressão em 7 dias > 45 kgf/cm ²)	1,70
Idem (resist. à compr. em 7 dias entre 45 kgf/cm ² e 35 kgf/cm ²)	1,40
Idem (resistência à compressão em 7 dias inferior a 35 kgf/cm ²)	1,00

Fonte: Souza (1981).

No que diz respeito às camadas betuminosas, recomenda-se a adoção de uma espessura mínima no intuito de se proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego e evitar a ruptura do revestimento por esforços repetidos de tração na flexão (BALBO, 2007). Esses valores mínimos para a espessura de revestimento são apresentados no Quadro 13:

Quadro 13: Espessura mínima de revestimento betuminoso

PARÂMETRO DE TRÁFEGO	TIPO E ESPESSURA
$N_{USACE} \leq 1 \times 10^6$	Tratamentos Superficiais Betuminosos
$1 \times 10^6 < N_{USACE} \leq 5 \times 10^6$	Revestimento Betuminoso com 5,0 cm
$5 \times 10^6 < N_{USACE} \leq 1 \times 10^7$	Revestimento Betuminoso com 7,5 cm
$1 \times 10^7 < N_{USACE} \leq 5 \times 10^7$	Revestimento Betuminoso com 10,0 cm
$5 \times 10^7 < N_{USACE}$	Revestimento Betuminoso com 12,5 cm

Fonte: Souza (1981).

A partir do número N_{USACE} de tráfego e do índice de capacidade de suporte da camada (CBR) a ser protegida é possível definir a espessura equivalente em material granular (H) necessária para a proteção da mesma, conforme a Figura 15:

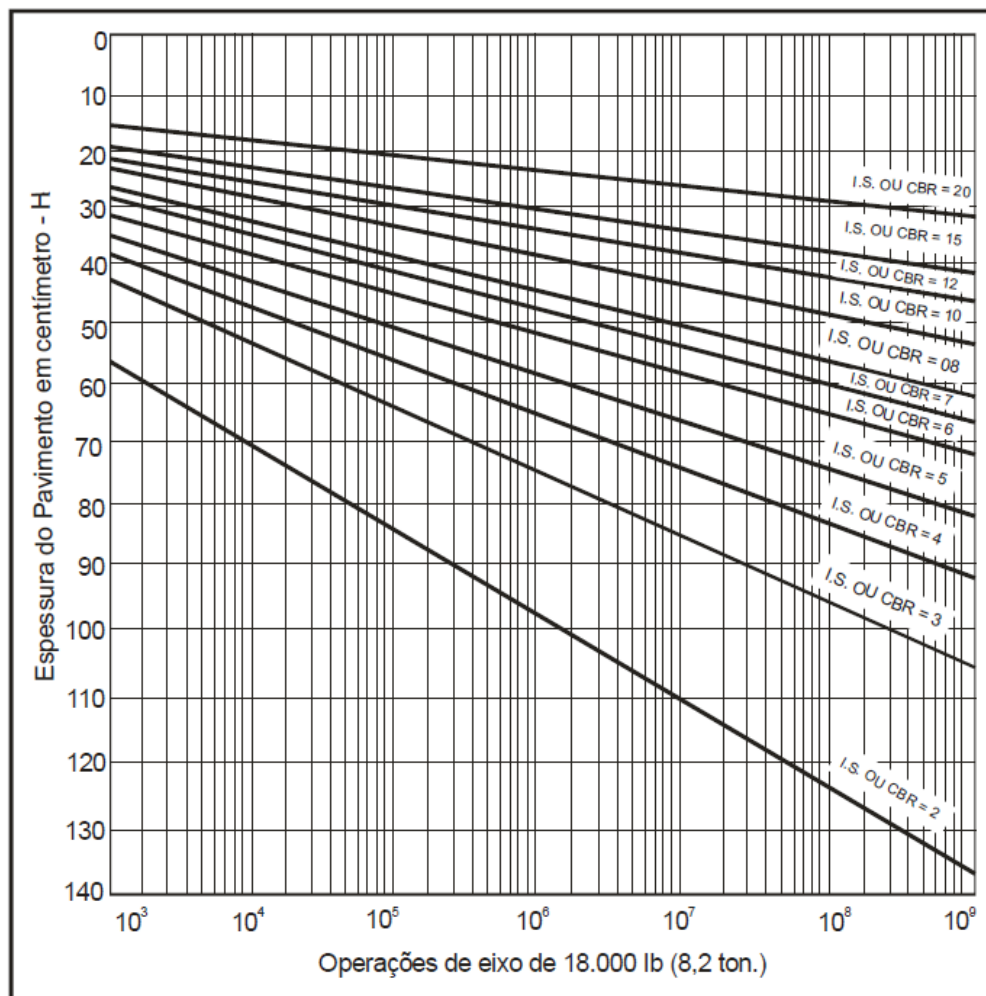


Figura 15: Ábaco para determinação das espessuras do pavimento

Fonte: Brasil (2006c).

Segundo Balbo (2007) as curvas de dimensionamento apresentadas no ábaco da Figura 15, podem ser consolidadas de acordo com a Equação (6):

$$H = 77,67 \cdot N^{0.0482} \cdot CBR^{-0.598} \quad (6)$$

A definição das espessuras equivalentes para a proteção de cada camada separadamente é realizada para o subleito (H_m) e para sub-base (H_{20}), conforme Equações (7) e (8):

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20} \quad (7)$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + S \cdot K_S \geq H_m \quad (8)$$

Onde:

H_{20} = espessura de pavimento equivalente necessária para proteger a sub-base.

H_m = espessura total de pavimento equivalente necessária para proteger o subleito.

R, B, S = espessuras projetadas do revestimento, base e sub-base, respectivamente.

K_R , K_B , K_S = coeficientes estruturais do revestimento, base e sub-base, respectivamente.

4.1.4 Retroanálise

A retroanálise realizada neste estudo utilizou os dados de levantamentos deflectométricos que foram fornecidos pelo DAER/RS e obtidos através do emprego do FWD (*Falling Weight Deflectometer*), onde utilizou-se a aplicação de carga geralmente de 41 kN equivalente a uma roda de um eixo padrão de 8,2t, na trilha externa da faixa direita de rolamento, no sentido crescente da rodovia, seguindo a norma DNER PRO 273/96. A frequência das medidas de deflexão fornecidas pelo DAER/RS é de 200 m, realizada no lado direito crescente do estaqueamento.

4.1.4.1 BAKFAA

O BAKFAA é um *software* de retroanálise para camadas elásticas desenvolvido pela Federal Aviation Administration (FAA), órgão de aviação civil dos Estados Unidos da América. Este *software* foi desenvolvido com o intuito de atender as pistas utilizadas na aviação, porém o mesmo pode ser utilizado para pavimentos rodoviários.

O processo inicia-se através da inserção dos dados levantados por meio do ensaio através do FWD (*Falling Weight Deflectometer*) entre eles: distância entre os sensores, bacias de deflexão, magnitude da carga aplicada e o raio da placa. Além disso, é necessário fornecer as propriedades dos materiais presentes na estrutura e a configuração do pavimento como: as espessuras das camadas, coeficiente de Poisson e uma estimativa do módulo de resiliência para cada material, também chamado de 'módulo semente'. De forma iterativa, o programa calcula as deflexões de modo a aproximar àquelas medidas em campo.

O responsável por medir o erro encontrado entre o valor de campo e o valor estimado é o valor quadrático médio (RMS). Este valor converge a zero, quanto menor sua magnitude, maior será a aproximação entre a bacia estimada e a bacia medida

em capo. O programa possui também um gráfico que compara a diferença entre as bacias. A Figura 16 ilustra a interface do programa BAKFAA:

BAKFAA - FAA Backcalculation (2.0.0.0) with LEAF (2003.6.11.0)

Layer Nbr	Young's Modulus, MPa	Poisson's Ratio	Interface Parameter (0 to 1.0)	Thickness, mm	Layer Changeable
1	3,231.29	0.35	1.00	119.9998	<input checked="" type="checkbox"/>
2	369.80	0.40	1.00	249.9995	<input checked="" type="checkbox"/>
3	268.41	0.45	1.00	0.0000	<input checked="" type="checkbox"/>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
5	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
6	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
7	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
8	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
9	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
10	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>

Sensor	1	2	3	4	5	6	7
Offset, mm	0.0	200.0	300.0	450.0	600.0	900.0	1200.0
Defin, mc	256.00	178.00	139.00	96.00	71.00	46.00	34.00
Calc, mc	255.82	179.05	137.60	96.31	71.53	45.92	33.60

Iteration Tolerance	Evaluation Depth, mm
0.0001	0
Plate Radius, mm	Plate Load, KN
150	41.36
Function RMS, mc	Iteration Number
0.7208	222 (Done)

Loaded Deflection, mc	Unloaded Deflection, mc	Calculated J.T.E, %
796.80		

Buttons: Approach, Depart, Batch Graph, Help, Exit, Select All, Clear All, Select Load and Run LEAF

Figura 16: Interface BAKFAA
Fonte: Autoria própria (2018).

4.1.5 Análise Mecanicista

Adicionalmente ao critério de dimensionamento do método do DNER (SOUZA,1981), foram empregados modelos mecanicistas para a análise de deformações e deslocamentos das camadas asfálticas e deformações no subleito.

Balbo (2007) afirma que entre as causas de rompimento de pavimentos associadas à repetição de cargas sobre as estruturas de pavimentos está o fenômeno de fadiga, responsável pelo trincamento de revestimentos betuminosos. Além disso

encontra-se o acúmulo de deformações plásticas ocorridas pela ação das deformações cisalhantes que ocorrem em camadas de misturas asfálticas e nos solos de subleito.

Portanto, para análise da vida útil dos pavimentos neste estudo, foram adotados três critérios:

- Deflexão total da estrutura;
- Deformação específica de tração no revestimento;
- Deformação vertical no subleito.

4.1.5.1 Deflexão Total da Estrutura

A deflexão admissível da estrutura foi obtida do procedimento do DNIT PRO 011/79 Procedimento B, para pavimentos flexíveis em função do número 'N' dada pela Equação (9):

$$\log D_{ADM} = 3,01 - 0,176 \cdot \log N \quad (9)$$

Onde:

D_{ADM} : Deflexão máxima admissível, em 0,01mm;

N: Número de repetições do eixo padrão de 8,2 tf.

Neste caso, o Número N a ser utilizado será dado através da metodologia da USACE referente ao valor no sexto ano após abertura do tráfego. Embora tenha se calculado também um número N_{USACE} para 10 anos devido a adoção do Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015), o projeto de reciclagem foi dimensionado para um horizonte de projeto de 6 anos, portanto, para a análise mecanística da alternativa de projeto também será utilizado este período de projeto.

4.1.5.2 Deformação Específica de Tração no Revestimento

Para a deformação específica de tração da fibra inferior do revestimento asfáltico adotou-se como critério de ruptura o modelo de fadiga proposto por Pinto e Preussler (1980), expresso pela Equação (10):

$$N_f = 2,85 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,69} \quad (10)$$

Onde:

N_f : Número de repetições do eixo padrão pela metodologia da AASHTO;

ε_t : Deformação horizontal de tração;

4.1.5.3 Deformação Vertical no Subleito

Para verificação da deformação no topo do subleito foi adotado o critério proposto por Shell (DORMON & METCALF, 1965), dado pela Equação (11):

$$N_f = 6,069 \cdot 10^{-10} \cdot (\varepsilon_v)^{-4,762} \quad (11)$$

Onde:

N_f : Número de repetições do eixo padrão pela metodologia do USACE;

ε_v : Deformação vertical no topo do subleito, em função do carregamento aplicado.

4.1.5.4 ELSYM5

No desenvolvimento deste estudo, fez-se uso do programa do ELSYM5 (Elastic Layered System), que aplica a Teoria Elástica de Sistema de Camadas para o cálculo dos deslocamentos, das tensões e das deformações nas estruturas simuladas, produzidos por um eixo de cargas, em qualquer ponto da estrutura do pavimento (MOTTA, 1991).

O ELSYM5 é um programa desenvolvido no Instituto de Transportes e Engenharia de Tráfego da Universidade da Califórnia (Berkeley). O procedimento de cálculo adotado pelo programa, idealiza a estrutura do pavimento como um sistema elástico tridimensional de camadas sobrepostas, semi-infinito no plano horizontal. Assume-se que os materiais obedeçam à lei de Hooke generalizada, ou seja, isotrópicos e homogêneos com comportamento elástico-linear (SEVERI et al, 1998).

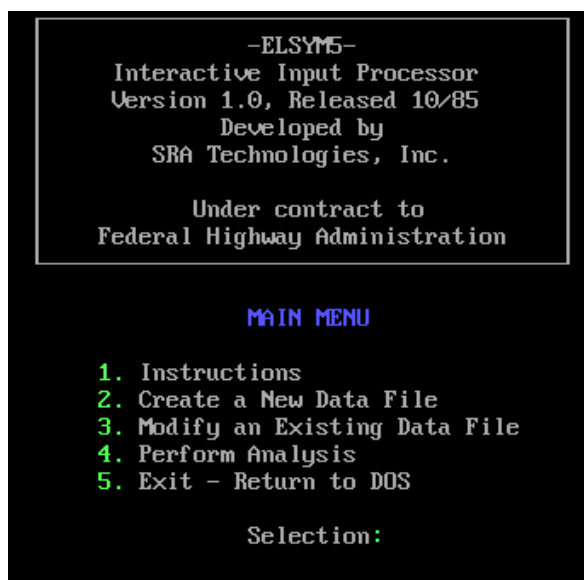


Figura 17: Tela inicial ELSYM5
Fonte: Autoria própria (2018).

Para iniciar os cálculos por meio do ELSYM5, é necessário primeiramente definir a configuração que o pavimento possui, fornecendo o número de camadas, suas espessuras, coeficiente de Poisson e módulo resiliente. Para camadas semi-infinitas (subleito) o programa indica a utilização da espessura igual a zero. Balbo (2007) cita que o programa ELSYM5 é adimensional, sendo necessário apenas coerência nas unidades de medidas adotadas.

ELASTIC LAYER DATA

Number of layers: 4

Layer Number	(top to bottom)	Thickness (inches)	Poisson's Ratio	Modulus of Elasticity
1		10.00	.35	36500.00
2		15.00	.40	2500.00
3		15.00	.40	2000.00
4		.00	.45	3370.00

*Note: Enter Zero thickness when bottom layer is semi-infinite.

Do you want to modify the data (Y/N)?

Figura 18: Lançamento da estrutura pavimento no ELSYM5
Fonte: Autoria própria (2018).

Após a caracterização do pavimento, deve-se fornecer a magnitude e os pontos que as cargas se localizam bem como a pressão atuante. Neste estudo, foram adotados valores de 8,2 toneladas-força (eixo-padrão, eixo simples de rodas duplas), de 5,6 kgf/cm² para pressão nos pneus e espaçamento entre o ponto de aplicação das cargas (rodas) de 34 centímetros conforme Balbo (2007). A Figura 19 ilustra os valores de carregamento para um eixo padrão (eixo simples de rodas duplas) de 8,2 tf. Na Figura 20 é possível ver o lançamento no programa ELSYM5:

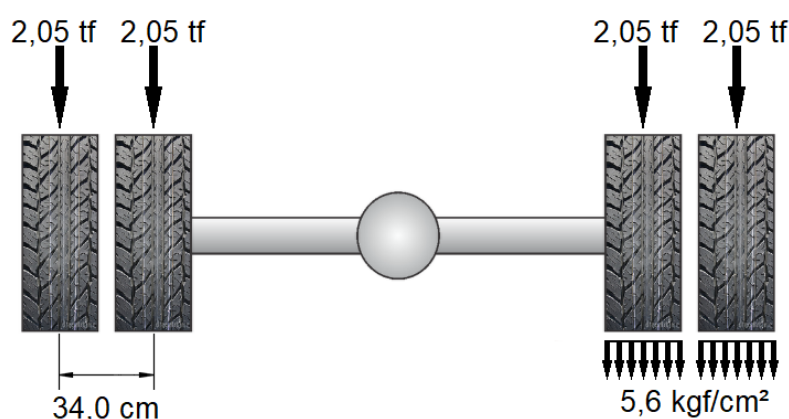


Figura 19: Carregamento em um Eixo Padrão de 8,2 tf
Fonte: Autoria própria (2018).

```

LOAD DATA

Enter two of the following, the third is calculated.

Load:      2050.00lbs  Pressure:      5.60 psi  Load Radius:      .00inches

Number of load locations:  2

Location
number =          Coordinates
                X =          Y =
    1              .00          .00
    2             34.00          .00

Do you want to modify the data (Y/N)?  _

```

Figura 20: Lançamento do carregamento no ELSYM5
Fonte: Autoria própria (2018).

Após a definição das cargas atuantes, especifica-se quais são os pontos que se deseja analisar as tensões e deformações. Para analisar a deflexão total da estrutura (D) determinou-se estudar pontos na superfície do pavimento. Em relação a

deformação específica de tração no revestimento (ϵ_t) determinou-se analisar pontos nas fibras inferiores da camada de concreto asfáltico novo. Por fim, para o estudo da deformação vertical do subleito (ϵ_v) adotou-se pontos localizados no topo do subleito. Estes pontos foram posicionados onde ocorrem as aplicações das cargas (abaixo das rodas) e entre os pontos de aplicação das cargas (entre as rodas). A Figura 21 ilustra os pontos analisados:

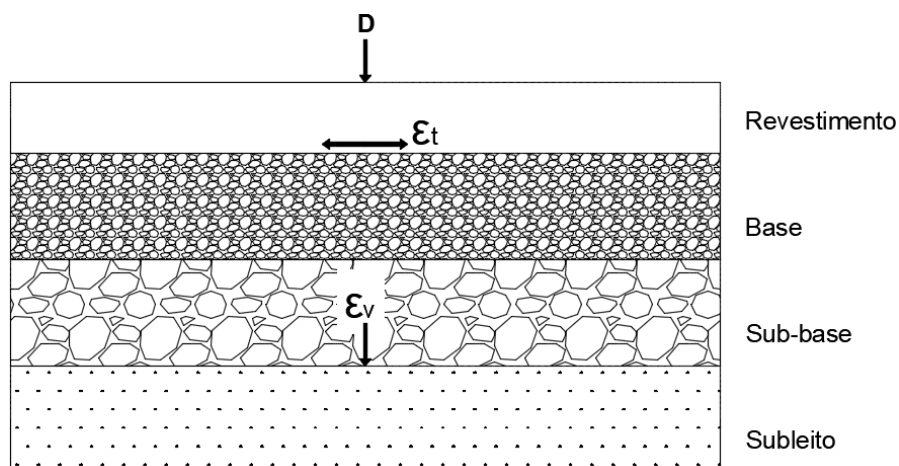


Figura 21: Pontos analisados
Fontes: Autoria própria (2018).

Por questão de simetria, pode ser considerado apenas o lado esquerdo para o cálculo. A Figura 22 mostra estes valores lançados no programa ELSYM5:

```

EVALUATION LOCATION DATA
Results are evaluated for all combinations of X-Y coordinates and
Depths of Z.
Number of X-Y positions: 3
Number of Z position : 3

```

Position	X	Y	Position	Z
1	.00	.00	1	.00
2	17.00	.00	2	9.99
3	34.00	.00	3	39.99

```

Do you want to modify the data (Y/N)?

```

Figura 22: Posicionamento dos pontos de análise no ELSYM5
Fonte: Autoria própria (2018).

Após lançar todos os parâmetros necessários, retorna-se ao menu inicial e calcula-se as tensões e deslocamentos nos pontos solicitados.

```

Displacements
XP      YP      UX      UY      UZ
.00     .00     .104E-02  .000E+00  .229E-01
17.00   .00     .000E+00  .000E+00  .222E-01
34.00   .00    -.104E-02  .000E+00  .229E-01

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1      Z = .00

1. - Stresses  Normal & Shear & Principal
2. - Strains   Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

Figura 23: Exemplo de resultado obtido no ELSYM5
Fonte: Autoria própria (2018).

Em relação à leitura dos dados deve-se atentar para a profundidade em que estão sendo mostrados os resultados (indicado pela cota Z) e a sua respectiva camada (*layer*). Por convenção, as tensões de compressão são mostradas com o sinal negativo (-) e as de tração e cisalhamento, com sinal positivo (+). Para a análise dos resultados referentes à deflexão total da estrutura (D) utiliza-se dados da coluna 'UZ' da opção deslocamento (*displacement*) na profundidade igual a 0 (superfície). Para a análise dos resultados referentes à deformação específica de tração no revestimento (ϵ_i) utiliza-se dados das colunas 'EXX' e 'EYY' da opção deformações normais, cisalhantes e principais (*strains normal & shear & principal*) para a profundidade referente à espessura do revestimento. Para a análise dos resultados referentes à deformação vertical no subleito (ϵ_v) utiliza-se dados da coluna 'EZZ' da opção deformações normais, cisalhantes e principais (*strains normal & shear & principal*) para a profundidade referente à espessura do pavimento até o topo do subleito.

4.2 ORÇAMENTO

Para o levantamento dos custos dos processos construtivos neste estudo, foi considerado o cálculo apenas da pista de rolamento que possui 3,60 metros para cada

sentido, portanto a via terá em dimensão final 7,20 metros de largura ao longo de um trecho de 27,53 quilômetros de extensão.

Para a realização do orçamento foram consideradas composições e preços da SICRO – Sistema de Custos Rodoviários referentes ao mês de maio de 2018. Além disso, para foram utilizados valores para os preços dos ligantes asfálticos fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) referentes ao mês de setembro de 2018.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

5.1.1 Estudo de Tráfego

O estudo de tráfego foi realizado para se determinar os volumes de tráfego histórico, atual e futuro. Esse estudo foi desenvolvido conforme os critérios e procedimentos da IS-110/10 – Instruções de Serviço para Estudos de Tráfego, Equipe de Estudos de Tráfego, 2010.

A contagem realizada pelo DAER/RS foi volumétrica, classificatória, de 15 em 15 minutos, durante o período de três dias, de 24 horas. Foi observado o posicionamento dos pontos de contagem de maneira a contemplar os diferentes volumes de tráfego ao longo do trecho e avaliar o tráfego de passagem que utilizará a rodovia. Nos Postos de Contagem foram utilizadas equipes divididas em turnos de maneira que estes pudessem manter o devido revezamento sem a sobrecarga em quaisquer dos pontos coletados.

Na realização das contagens Classificadas de Veículos foram consideradas as categorias padrões do DNIT:

- Motos;
- Passeio: Automóveis passeio: carros e utilitários;
- Coletivo: Ônibus: com eixo simples ou tandem duplo de rodas duplas ou triplas traseiras (2C);
- Carga leve: Caminhões truck: um eixo simples de rodagem simples dianteiro e um eixo simples de rodado duplo traseiro com capacidade máxima de 5 t (2C);
- Carga média: Caminhões truck: um eixo simples de rodagem simples dianteiro e um eixo simples de rodado duplo traseiro com capacidade igual ou superior a 5 t (2C);
- Carga pesada: um eixo simples de rodado simples dianteiro e um eixo tandem duplo de rodado duplo traseiro (3C);
- Carga ultrapesada: um eixo duplo de rodagem simples dianteiro e um eixo tandem duplo de rodado duplo traseiro (4C);

Veículos articulados compostos por um cavalo mecânico que traciona um semi-reboque com um eixo simples ou tandem (duplo ou triplo) com os rodados duplos traseiros (2S2, 2S3, 2J3, 3S2, 3S3, 3J3, 3I3, 3T4, 3T6);

Veículos articulados compostos por uma unidade tratora que traciona um reboque com dois eixos de rodados simples ou duplos dianteiro e um eixo simples ou tandem (duplo ou triplo) com rodados duplos traseiros (2C2, 2C3, 3C2, 3C3, 3D4, 3D6).

5.1.1.1 Número N - USACE

O cálculo do número N_{USACE} apresentado para cada trecho segue as taxas de crescimento para as projeções de tráfego, fatores de veículos e de pistas, conforme procedimentos da IS-110/10, DAER/RS.

$$N = 365 \cdot F_p \cdot F_R \cdot \sum V_i \cdot F_v \cdot \left(1 + \frac{t\%}{100}\right)^{n^{\circ} \text{ do ano subsequente da contagem}} \quad (12)$$

Onde:

V_i : Número de veículos de acordo com a categoria;

F_v : Fator de veículos;

F_R : Fator climático regional, adotado conforme as características climáticas da região.

F_p : Fator de pista.

Os dados econômicos disponíveis da região não são consistentes para a definição do crescimento anual na determinação do Tráfego Futuro. Então, foram aplicadas as taxas de crescimento anual, no valor de $t = 5\%$ (conforme recomendação do DAER/RS) e um horizonte de projeto de 6 anos.

Considerou-se que o ano de abertura de tráfego será em 2019, pois a obra de restauração pela reciclagem de pavimento ocorrerá entre 2017 e 2018. Sendo assim, o número N_{USACE} indicado neste estudo será superior ao do projeto original, já que o ano de abertura sofreu alteração devido ao atraso para o início das obras.

O Quadro 14 mostra os parâmetros utilizados para o cálculo do número N:

Quadro 14: Parâmetros de Cálculo para Obtenção do Número N_{USACE}

Fator de Veículo					Fator Climático - FR	Fator de Pista - FP
Coletivo	Carga Leve	Carga Média	Carga Pesada	Carga Ultra Pesada		
0.0345	0.0630	1.3710	4.9860	11.2050	1.0	0.5
Ano Inicial - Número N					2019	
Período de Projeto (Anos)					6	

Fonte: Adaptado da Norma IS-110/10-DAER/RS.

A projeção de tráfego foi calculada a partir de contagens realizadas em 2015, com taxa de crescimento de 5% ao ano. O horizonte de projeto adotado para o projeto reciclagem é de 6 anos, porém como serão adotadas soluções provenientes do Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) e o mesmo utiliza um horizonte de projeto de 10 anos, será calculado também um número N_{USACE} com base neste período de tempo. A Tabela 1 mostra os valores para o número N_{USACE}:

Tabela 1: Número N_{USACE}

ANO	ANO A ANO	ACUMULADO	OBSERVAÇÕES
2015	-	-	Projeto
2016	-	-	Projeto
2017	-	-	Obra
2018	-	-	Obra
2019	1928633,42	1928633,42	1° Ano
2020	2025065,09	3953698,51	2° Ano
2021	2126318,34	6080016,85	3° Ano
2022	2232634,26	8312651,11	4° Ano
2023	2344265,97	10656917,08	5° Ano
2024	2461479,27	13118396,36	6° Ano
2025	2584553,24	15702949,59	7° Ano
2026	2713780,90	18416730,49	8° Ano
2027	2849469,94	21266200,43	9° Ano
2028	2991943,44	24258143,87	10° Ano
NÚMERO N _{USACE} (6 anos)		1,312x10 ⁷	
NÚMERO N _{USACE} (10 anos)		2,426x10 ⁷	

Fonte: Autoria própria (2018).

5.1.1.2 Número N - AASHTO

O cálculo do número N_{AASHTO} foi realizado de forma análoga ao da metodologia da USACE, porém, considerando os Fatores Veículo correspondentes. Os fatores de veículo utilizados foram determinados de acordo com a norma IP-DE-P00/001 DER/SP (Quadro 15).

Quadro 15: Parâmetros de Cálculo para Obtenção do Número N_{AASHTO}

Fator de Veículo					Fator Climático - FR	Fator de Pista - FP
Coletivo	Carga Leve	Carga Média	Carga Pesada	Carga Ultra Pesada		
1,88	0,11	1,89	1,27	4,09	1.0	0.5
Ano Inicial - Número N					2019	
Período de Projeto (Anos)					6	

Fonte: Adaptado de Norma IP-DE-P00/001 DER/SP.

Novamente a projeção de tráfego foi calculada com taxa de crescimento de 5% ao ano e o horizonte de projeto adotado é de 6 anos. A Tabela 2 mostra os valores obtidos para o número N_{AASHTO} :

Tabela 2: Número N_{AASHTO}

ANO	ANO A ANO	ACUMULADO	OBSERVAÇÕES
2015	-	-	Projeto
2016	-	-	Projeto
2017	-	-	Obra
2018	-	-	Obra
2019	752664,38	752664,38	1° Ano
2020	790297,60	1542961,98	2° Ano
2021	829812,48	2372774,46	3° Ano
2022	871303,11	3244077,57	4° Ano
2023	914868,26	4158945,83	5° Ano
2024	960611,67	5119557,51	6° Ano
NÚMERO N_{AASHTO} (6 anos)		5,12x10 ⁶	

Fonte: Autoria própria (2018).

5.1.1.3 Volume Médio Diário Comercial (VMDc)

A partir dos levantamentos do VMD foi possível obter o Volume Médio Diário Comercial para o período de 10 anos, um dos parâmetros utilizados no Catálogo de

Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015). Os resultados da projeção para o Volume Médio Diário Comercial são mostrados na Tabela 3:

Tabela 3: Projeção do Volume Médio Diário Comercial

ANO	VMDc					TOTAL	OBSERVAÇÕES
	COLETIVO	CARGA LEVE	CARGA MÉDIA	CARGA PESADA	CARGA ULTRA PESADA		
2015	92	140	132	269	639	1272	Projeto
2016	97	147	139	282	671	1336	Projeto
2017	102	154	146	297	704	1403	Obra
2018	107	162	153	311	740	1473	Obra
2019	112	170	160	327	777	1546	1º Ano
2020	118	179	168	343	816	1624	2º Ano
2021	124	188	177	360	856	1705	3º Ano
2022	130	197	186	379	899	1790	4º Ano
2023	136	207	195	397	944	1879	5º Ano
2024	143	217	205	417	991	1974	6º Ano
2025	149	228	215	438	1041	2071	7º Ano
2026	156	239	226	460	1093	2174	8º Ano
2027	162	251	237	483	1148	2281	9º Ano
2028	169	264	249	507	1205	2394	10º Ano

Fonte: Autoria própria (2018).

5.1.2 Estudos de Sondagem

É uma fonte muito importante de informações relacionadas à estrutura existente do pavimento pois possibilita a avaliação visual das diferentes camadas, espessuras e materiais da estrutura do pavimento e fornecem a oportunidade de definir a condição *in situ* dos vários materiais, para a coleta de amostras de cada camada para ensaios de laboratório, para a classificação dos materiais ou para projetos de misturas de estabilização (WIRTGEN, 2012). As sondagens em 2015 foram realizadas pelo DAER/RS através de sonda rotativa e poços de ensaios. As sondagens foram realizadas com o seguinte espaçamento médio:

- Sondagens rotativas (apenas do revestimento) - a cada 2,50km;
- Poços de sondagens (do revestimento até o sub-leito) - a cada 5,00km.

As sondagens de 2017 foram realizados pela Empresa Prestadora de Serviços e foram obtidos por meio de poços de sondagens. As informações coletadas indicam

que o revestimento existente no trecho é predominantemente do tipo CBUQ e com espessura variável de acordo com o segmento:

Combinando as informações de sondagens realizadas, obtém-se os dados apresentados no Tabela 4:

Tabela 4: Dados obtidos por sondagens

TIPO SONDAGEM	POSIÇÃO		ESPESSURA DAS CAMADAS			EXECUÇÃO
	ESTACA	LADO	CBUQ	BRITA GRADUADA	MACADAME SECO	
ROTATIVA	57+500	LD	13,00	-	-	2015
ROTATIVA	60+000	LE	7,90	-	-	2015
ROTATIVA	62+500	LD	5,50	-	-	2015
ROTATIVA	65+000	LE	8,00	-	-	2015
ROTATIVA	67+500	LD	6,00	-	-	2015
ROTATIVA	70+000	LE	6,00	-	-	2015
ROTATIVA	72+500	LD	9,00	-	-	2015
ROTATIVA	75+000	LE	15,00	-	-	2015
ROTATIVA	77+500	LD	11,00	-	-	2015
ROTATIVA	80+000	LE	5,00	-	-	2015
ROTATIVA	82+500	LD	11,60	-	-	2015
POÇO	56+500	LD	9,00	23,00	16,00	2015
POÇO	61+500	LE	10,00	33,00	-	2015
POÇO	66+500	LD	10,00	34,00	-	2015
POÇO	71+500	LE	10,00	31,00	-	2015
POÇO	76+500	LD	17,00	35,00	-	2015
POÇO	81+500	LE	16,00	34,00	-	2015
POÇO	56+200	LD	13,00	21,00	-	2017
POÇO	58+040	LE	14,00	25,00	-	2017
POÇO	59+970	LD	14,00	22,00	-	2017
POÇO	62+170	LE	17,00	26,00	-	2017
POÇO	64+000	LD	12,00	22,00	-	2017
POÇO	65+880	LD	14,00	24,00	-	2017
POÇO	67+580	LD	11,00	19,00	-	2017
POÇO	70+000	LE	15,00	19,00	-	2017
POÇO	71+980	LD	15,00	30,00	-	2017
POÇO	74+000	LE	14,00	25,00	-	2017
POÇO	76+200	LD	13,00	20,00	-	2017
POÇO	78+000	LE	14,00	22,00	-	2017
POÇO	80+000	LD	15,00	18,00	-	2017
POÇO	81+980	LE	16,00	23,00	-	2017
POÇO	83+520	LD	15,00	19,00	-	2017
MÉDIA			11,94 cm	25,00 cm	-	

Fonte: Autoria própria (2018).

A Figura 24 ilustra a configuração do pavimento encontrada a partir das sondagens de 2015 e 2017:

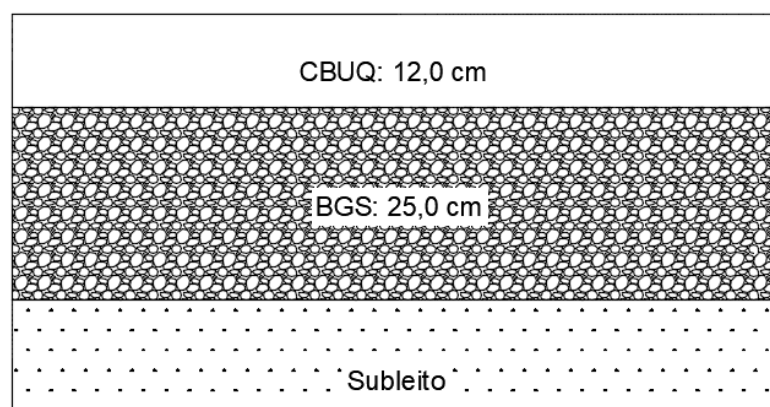


Figura 24: Configuração do pavimento *in situ*
Fonte: Autoria própria (2018)

5.1.3 Granulometria

Sob ponto de vista da granulometria da camada granular, evidenciou-se que nenhuma das amostras coletadas em 2017 pela Empresa Prestadora de Serviços se enquadraram dentro da Classe 'A' do DAER/RS. Ainda, com os resultados obtidos, verificou-se uma descontinuidade muito acentuada na granulometria de cada amostra, sendo que em várias análises a diferença entre as porcentagens que passam nas peneiras nº 4 e nº 30, que de acordo com a norma DAER-ES-P 08/91, deveriam variar entre 15% e 25%, onde nenhuma delas se apresentou satisfatória, obtendo resultados de 25,16% até 43,65%.

Com relação ao Equivalente de Areia, nenhuma amostra coletada em 2017 resultou satisfatória de acordo com a norma DAER-ES-P 06/91, onde a mesma recomenda valores maiores que 50%. Os ensaios mostraram resultados que variaram de 22,50% até 36,10%. O que evidencia e comprova que essa camada granular se encontra contaminada com argila. Fato observado também durante a execução dos poços de sondagens em 2015, pela classificação visual de 'brita graduada marrom'. Wirtgen (2012) cita que a argila, devido à forma e tamanho de suas partículas, possui uma capacidade de reter altos níveis de umidade. Por ser altamente aderente em determinados níveis de umidade, a argila apresenta a formação de 'blocos' os quais possivelmente não serão quebrados pela reciclagem, formando pontos fracos na nova camada reciclada.

Nas condições relatadas, a incorporação de agregados virgens (adição de 31% de agregado miúdo (pó de pedra) e adição de 2,5% de cimento Portland) podem apresentar-se insuficientes para corrigir essa granulometria.

5.1.4 Avaliação Funcional

No que tange à condição funcional observa-se que em termos gerais o trecho apresenta condições ruins de rolamento, com necessidade de maior atenção nas soluções de caráter funcional. Foram verificadas ocorrências de trincamento na superfície de forma geral.

5.1.4.1 Levantamento Visual Contínuo

O Levantamento Visual Contínuo foi realizado pelo DAER/RS e os defeitos superficiais do pavimento foram avaliados pela empresa projetista, a qual utilizou o método de Levantamento Visual Contínuo – LVC (DNIT 008/2003 – PRO), a fim de levantar e classificar os defeitos aparentes na superfície do pavimento:

- Trincas isoladas (TR);
- Trincas interligadas tipo jacaré (J), jacaré com erosão de borda (JE) e bloco (TB);
- Afundamento plástico (AF);
- Ondulação (O);
- Painelas (P) e Remendos (R);
- Escorregamento do revestimento betuminoso (E);
- Exsudação (EX);
- Desgaste (D);
- Degrau entre pista e acostamento.

Aplicando a classificação acima para cada segmento cadastrado (200m), de acordo com o LVC fornecido pelo DAER/RS, a empresa projetista chegou ao seguinte percentual em termos de extensão de rodovia:

- 77% do trecho em estado RUIM, sendo 53% do tipo R4 (trincamento severo), 13% do tipo R1 (irregularidade elevada) e 11% dos demais;

- 22% do trecho em estado REGULAR;
- 1% do trecho em estado BOM ou ÓTIMO.

Em face aos dados levantados, para a utilização do Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis/DNIT foi considerado que, de modo conservador e por falta de dados mais precisos, a rodovia apresenta em sua totalidade valores de trincamento maiores que 10% ($TR > 10\%$).

5.1.4.2 *International Roughness Index (IRI)*

As medidas de irregularidade longitudinal foram efetuadas pelo DAER/RS nas trilhas-de-roda externas e internas e integradas em segmentos de 200 em 200 metros na faixa de rolamento do sentido crescente da rodovia.

Para a aplicação do Catálogo de Soluções do DNIT os intervalos de interesse da irregularidade longitudinal (IRI em m/km) são definidos em 3 faixas:

- $IRI < 2,5$;
- $2,5 < IRI < 4,0$;
- $IRI > 4,0$.

Aplicando os intervalos acima para o levantamento de irregularidade fornecido pelo DAER/RS em toda a extensão em estudo, chegou-se aos seguintes percentuais em termos de extensão de rodovia:

- 13,97% do trecho com IRI menor do que 2,5 m/km;
- 49,23% com IRI entre 2,5 e 4,0 m/km;
- 36,76% com IRI acima de 4,0 m/km.

5.1.5 Avaliação Estrutural

Para análise global dos trechos em estudo foi realizado primeiramente a divisão dos segmentos homogêneos. Para isso, a primeira característica considerada foi a deflexão sob a ação da carga, tendo em vista que esta representa o comportamento

da estrutura do pavimento como um todo e permite, a partir dos dados de tráfego e características do subleito, avaliar as necessidades estruturais do trecho.

Para a divisão dos segmentos homogêneos a empresa projetista utilizou o método denominado 'Método das Diferenças Acumuladas' recomendado pela AASHTO. Através desta metodologia, pode-se fazer a divisão do trecho em segmentos homogêneos de uma forma racional, podendo ser utilizados qualquer parâmetro que for relevante na análise.

Após a divisão em segmentos homogêneos foram calculadas as deflexões características (média da deflexão sob a ação da carga determinada com FWD acrescida de um desvio padrão), o IRI médio, o afundamento médio em trilha de roda, bem como, o percentual global de trincamento de cada segmento homogêneo.

Com os dados deflectométricos e funcionais definidos, procedeu-se à determinação das deflexões admissíveis, que imposta ao pavimento, acarretará a ruptura do revestimento betuminoso por processo de fadiga. Segundo a norma DNER-PRO 011/79 B, para pavimentos flexíveis constituídos de revestimento de concreto betuminoso executado sobre base granular, o valor da Deflexão Admissível (D_{ADM}) é dado pela Equação (13):

$$\log D_{ADM} = 3.01 - 0.176 \log N_{USACE} \quad (13)$$

Como já citado, o número N_{USACE} adotado remete a um período de projeto de 10 anos, pois o Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis/DNIT utiliza este período de projeto. Portanto, para um Número $N_{USACE} = 2,426 \times 10^7$, tem-se que:

$$\begin{aligned} \log D_{ADM} &= 3,01 - 0,176 \cdot \log 2,426E + 07 \\ D_{ADM} &= 51,3 \times 10^{-2} \text{ mm} \end{aligned}$$

Para a rodovia em análise, a segmentação homogênea foi realizada pela empresa projetista, tomando-se segmentos de no mínimo 400 metros e máximo de 3,0 km. Devido ao levantamento deflectométrico ser realizado de 200 em 200 metros, o segmento mínimo considerado foi de 400 metros para permitir que haja pelo menos dois pontos em cada segmento, sem o qual não é possível realizar o cálculo estatístico da deflexão característica e do coeficiente de variação.

A Tabela 5 apresenta os segmentos homogêneos definidos pela empresa projetista bem como seus parâmetros estruturais:

- Deflexão Característica (D_c), em 10^{-2} mm;
- Raio de Curvatura (R_c), em m.

Tabela 5: Segmentos Homogêneos e parâmetros estruturais

SEGMENTO HOMOGÊNEO				PARÂMETROS				
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (km)	D_c	R_c	D_{ADM}	$R_c > 100$	D_c/D_{ADM}
1	56+000	57+500	1.50	44.6	194	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
2	57+500	58+300	0.80	50.7	160	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
3	58+300	59+100	0.80	78.9	120	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
4	59+100	59+500	0.40	40.3	183	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
5	59+500	60+300	0.80	53.8	141	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
6	60+300	60+900	0.60	64.9	151	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
7	60+900	61+500	0.60	98.5	113	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
8	61+500	62+100	0.60	60.0	142	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
9	62+100	62+900	0.80	51.0	174	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
10	62+900	63+500	0.60	39.0	255	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
11	63+500	64+900	1.40	49.7	212	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
12	64+900	65+700	0.80	58.4	179	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
13	65+700	66+100	0.40	44.3	219	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
14	66+100	66+900	0.80	64.4	164	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
15	66+900	67+700	0.80	64.6	147	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
16	67+700	68+300	0.60	93.8	97	51.3	NÃO	$D_c > D_{adm}$
17	68+300	69+500	1.20	46.7	194	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
18	69+500	70+300	0.80	48.7	214	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
19	70+300	70+700	0.40	91.6	104	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
20	70+700	71+500	0.80	44.5	193	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
21	71+500	72+500	1.00	41.2	216	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
22	72+500	72+900	0.40	78.4	146	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
23	72+900	73+900	1.00	43.6	217	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
24	73+900	74+500	0.60	40.9	202	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
25	74+500	75+300	0.80	37.6	263	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
26	75+300	76+.300	1.00	41.4	233	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
27	76+300	77+100	0.80	52.9	178	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
28	77+100	78+500	1.40	35.1	263	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
29	78+500	79+000	0.50	62.2	142	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
30	79+000	79+500	0.50	40.6	251	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
31	79+500	80+100	0.60	45.0	158	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
32	80+100	81+300	1.20	39.0	255	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
33	81+300	81+700	0.40	66.8	119	51.3	SIM	$D_c > D_{adm}$
34	81+700	82+300	0.60	29.9	260	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
35	82+300	82+700	0.40	47.0	176	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$
36	82+700	83+530	0.83	39.6	206	51.3	SIM	$D_c \leq D_{adm}$

Fonte: Adaptado de Empresa Projetista (2018).

Em termos estruturais, observa-se que 61,1% do trecho possui deflexão característica abaixo da admissível e que 38,9% apresentam valores com a deflexão característica acima do valor admissível, indicando para estes casos a provável necessidade de correções de caráter estrutural.

Baseado na Norma DNER PRO-011/79 B, a qual relaciona a magnitude das deflexões (e seu raio de curvatura) com o aparecimento de falhas nos pavimentos flexíveis, o raio de curvatura das deflexões deveria apresentar valores acima de 100 m. Portanto, os pontos que apresentam o parâmetro raio de curvatura menor do que o limite de 100 m, são muito deformáveis, ou seja, apresentam problemas estruturais e devem sofrer uma intervenção mais severa. Analisando os dados de raio de curvatura, é possível verificar que os segmentos 16 e 19 apresentam respectivamente valores abaixo e muito próximo dos valores considerados com capacidade inadequada de distribuição de cargas pelos critérios da norma rodoviária DNER-PRO 11/79 B ($R_c \geq 100$ m), denotando de forma geral uma inadequada condição estrutural.

5.1.6 Retroanálise

A retroanálise foi realizada através do *software* BAKFAA, utilizando os dados das bacias deflectométricas levantadas pelo DAER/RS em 2015. A configuração do pavimento a ser utilizada no *software* foi definida por meio dos estudos de sondagem realizados em 2015 e 2017, onde apresenta uma camada de revestimento de 12,0 cm e uma camada de base de 25,0 cm.

O Quadro 16 apresenta os parâmetros utilizados para a realização da retroanálise. Um dos parâmetros adotados foram valores médios de Módulo de Resiliência (MR) *in situ* para revestimentos asfálticos, bases e subleito. Segundo Cardoso (1995), estes valores podem ser utilizados em pré-dimensionamentos, estudos preliminares e como limites de módulos iniciais para o início de retroanálise (módulo semente).

Quadro 16: Parâmetros utilizados na retroanálise

CAMADA	MR (kgf/cm ²)	MR (MPa)	FONTE	COEFICIENTE DE POISSON	FONTE
REVESTIMENTO	29000	2844	Cardoso (1995)	0,35	Balbo (2007)
BASE	2700	265	Cardoso (1995)	0,40	Balbo (2007)
SUBLEITO	1500	147	Cardoso (1995)	0,45	Balbo (2007)

Fonte: Cardoso (1995) e Balbo (2007).

A Tabela 6 apresenta os Módulos de Resiliência (MR) *in situ* para o segmento em estudo da rodovia ERS 324 obtidos através do processo de retroanálise:

Tabela 6: Módulos de Resiliência médios obtidos por retroanálise

CAMADA	MR MÉDIO (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	COEFICIENTE DE VARIACÃO
REVESTIMENTO	2764.14	928.75	34%
BASE	113.72	67.20	59%
SUBLEITO	337.44	153.00	45%

Fonte: Autoria própria (2018).

O subleito mostrou-se com boa rigidez, apresentando Módulo de Resiliência médio de 337,44 MPa, apresentando um comportamento de solo laterítico ao comparar-se com resultados obtidos por Bernucci (1995) e Preussler (1983).

A camada de base apresentou um valor médio de Módulo de Resiliência de 113,72 MPa. Balbo (2007) cita que o comportamento resiliente da brita graduada simples é tipicamente linear e crescente com o incremento de tensão de confinamento em uma amostra, sendo que para pavimentos flexíveis, valores de Módulo de Resiliência entre 100 e 250 MPa são corriqueiros para brita graduada simples, mostrando coerência em relação aos valores obtidos.

Preussler (1983) encontrou valores de módulo de resiliência para o concreto asfáltico no intervalo de 2700 a 4300 MPa para pavimentos novos. Balbo (2007) cita valores entre 3000 e 5000 MPa também para pavimentos novos. Segundo Pitta e Balbo (1998), pavimentos que apresentam grande quantidade de fissuras tendem a ter deformações resilientes de maior magnitude o que conduz a valores de módulo de resiliência menores. Portanto, o valor obtido é coerente pois, o pavimento do segmento em estudo apresenta uma grande incidência de fissuras.

Uma questão que merece destaque é a dispersão observada nos valores de módulo de resiliência determinados para as camadas do pavimento analisado. Esta dispersão é representada através do valor de Coeficiente de Variação (CV), que atingiu valores de até 59% nos valores de módulo de resiliência para a camada de base.

Segundo Nóbrega (2003) o valor do coeficiente de variação possui grande importância na análise do pavimento, implicando diretamente na confiabilidade de uma possível camada de reforço. Macêdo (1996) cita que estudos de sensibilidade

demonstraram que a consideração de espessura inadequada da camada de revestimento pode comprometer os resultados da retroanálise. Observa ainda que a espessura das camadas subjacentes não implica tanto nos valores de módulo de resiliência como a espessura do revestimento. Portanto, pode-se atribuir, em parte, a causa dos elevados coeficientes de variação ao fato de o pavimento em estudo apresentar camadas de revestimento com espessuras muito variáveis, como pode ser analisado nos resultados das sondagens.

Alguns fatores citados por Preussler et. al. (2000) como a oxidação e deterioração da camada asfáltica, o teor de umidade presente nas camadas granulares e a granulometria, são pertinentes em relação a esse trecho em estudo e também podem ter afetado os resultados obtidos em relação à dispersão dos valores obtidos.

5.2 PROPOSTA PARA INTERVENÇÃO DO PAVIMENTO

A avaliação das condições do pavimento apresenta uma minoria de segmentos com capacidade estrutural inadequada, alguns com necessidade de apenas correções funcionais e na maior parte com necessidade de reforço estrutural. Entretanto, o projeto original indicou a reciclagem do pavimento, em uma espessura de 18 cm com incorporação de 13 cm de camada granular existente e incorporação de 5 cm de revestimento existente para todo o trecho.

A solução através da reciclagem de pavimento em toda a extensão do trecho (27,53 Km), pode-se apresentar como uma solução inconveniente devido à grande possibilidade de insucesso. Destacam-se algumas razões para essa consideração:

- a) Segmentos considerados com capacidade inadequadas de distribuição de cargas:

Conforme já descrito, apenas os segmentos 16 e 19, apresentam um Raio de Curvatura inferior ou muito próximo ao limite indicado na norma rodoviária DNER-PRO 011/79 B ($R_c \geq 100m$), evidenciando a presença de problemas situados fora do escopo dos métodos de dimensionamento alicerçados em apenas critérios deflectométricos.

Somando-se o exposto com a descontinuidade desses segmentos e as curtas extensões desses dois segmentos, de 600 e 400 metros respectivamente, a solução

mais provável seria a reconstrução total desse pavimento. Que consiste na remoção do pavimento existente e execução de nova estrutura dimensionada por critérios de resistência e mecanicistas.

b) Condição desfavorável encontrada na estrutura existente:

Os materiais coletados nos poços de sondagens realizados em 2017 evidenciam a condição imprópria para a execução do projeto de reciclagem:

- **Espessura do Revestimento:** A espessura média encontrada do revestimento foi de 12,0 cm. Como o projeto prevê a incorporação de apenas 5,00cm do revestimento existente na base reciclada, a fresagem prévia deverá ser de 7,0 cm (em média), o que representa um valor além dos 3,00cm previstos inicialmente. Isso pode, portanto, provocar uma alteração no preço globalizado calculado originalmente, devido à necessidade de uma fresagem mais profunda.
- **Granulometria:** Segundo a norma DAER-ES-P 08/91 nenhuma amostra coletada na sondagem realizada em 2017 se enquadrou dentro da Classe 'A' do DAER/RS. Verificou-se uma descontinuidade muito acentuada na granulometria de cada amostra. A diferença entre as porcentagens que passam nas peneiras nº 4 e nº 30, que segundo a norma DAER-ES-P 08/91, deveriam variar entre 15% e 25%, apresentaram resultados que variam de 25,16% até 43,65%.
- **Contaminação:** Nenhuma amostra coletada na sondagem realizada em 2017 se mostrou satisfatória no ensaio de equivalente areia (mínimo de 50% de acordo com a norma DAER-ES-P 06/91), com resultados de 22,50% até no máximo de 36,10%. O que configura que essa camada granular se encontra contaminada com argila.
- **Umidade:** Em praticamente todos os poços de sondagens realizados em 2017 foi constatada a presença de umidade, evidenciando a necessidade da construção de drenos a fim de controlar a umidade independentemente da solução adotada. No caso do projeto de reciclagem, os drenos deverão estar com a sua cota superior abaixo da cota inferior prevista para a base reciclada, necessitando de grandes espessuras de escavação e dificultando sua execução.

c) Elevados degraus entre pista e acostamento:

Foram encontrados degraus existentes entre a pista e os acostamentos que apresentaram alturas elevadas, em muitas vezes com medidas superiores a 30cm (Figura 25). Além disso, a situação atual apresenta grande irregularidade, pois em alguns pontos praticamente inexistem acostamentos e em outros, apresentam pequena diferença em relação à pista.

Com essa ampla variabilidade de espessuras, pode ocorrer conseqüentemente uma grande oscilação nos volumes dos materiais fresados lançados nos acostamentos, com o objetivo de nivelá-los.

Como a largura prevista para recuperação dos acostamentos é de apenas 0,50m e o projeto de reciclagem define que deverá ser realizada fresagem prévia do revestimento da pista e espalhamento nos acostamentos para incorporação na reciclagem da plataforma. O material fresado excedente de outros segmentos poderá ser reaproveitado da mesma forma, sendo transportado e espalhado nos acostamentos de forma a ser incorporado na reciclagem de toda a plataforma.

Nessas condições a reciclagem da pista deverá ser executada concomitantemente com os acostamentos, dessa forma esse variável e vasto volume de material fresado, previamente retirado da pista e lançado nos acostamentos, retornará para a pista durante a reciclagem, sendo adicionado durante o corte do pavimento.



Figura 25: Degraus entre pista e acostamento
Fonte: Autoria própria (2018).

Desta forma, com essa possível grande variabilidade de quantidade do material fresado somado as discontinuidades encontradas na base existente, pode-se tornar impraticável a obtenção de uma faixa granulométrica homogênea e que se enquadre nas especificações pré-estabelecidas.

5.2.1 Dimensionamento do Reforço (DNER PRO 011/079 B)

A espessura necessária de reforço do pavimento é dimensionada através dos resultados do levantamento deflectométrico, pela Equação (14):

$$h = K \cdot \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad (14)$$

Onde:

h: espessura do reforço do pavimento em centímetros;

D_p : deflexão de projeto determinada par ao subtrecho homogêneo, em mm^{-2} ;

D_{adm} : deflexão admissível após a execução do reforço do pavimento, em centésimos de milímetro;

K: fator de redução de deflexão, próprio do material usado no reforço.

O valor de D_p é obtido através da Equação (15):

$$D_p = D_c \cdot F_s \quad (15)$$

Onde:

D_c = deflexão característica obtida para a época do levantamento deflectométrico, em mm^{-2} ;

F_s = fator de correção sazonal.

Como neste projeto o valor do fator de correção sazonal (F_s) foi considerado 1,0, temos a equação (16):

$$D_p = D_c \quad (16)$$

Para calcular a espessura de reforço do pavimento (HR) em termos de concreto betuminoso, deve ser usado o valor de $K = 40$, portanto obtém-se a Equação (17):

$$HR = 40 \cdot \log \frac{D_c}{D_{adm}} \quad (17)$$

O diagnóstico dos pavimentos de acordo com a metodologia da norma DNER PRO 011/79 B são apresentados na Tabela 7 a seguir, onde verifica-se que os reforços variam de 0,0 a 11,33 cm.

Tabela 7: Diagnóstico dos segmentos homogêneos pela norma DNER PRO 011/79 B

Nº	Segmento Homogêneo			Qualidade Estrutural	Medidas Corretivas	Hr
	Inicial	Final	Extensão (km)			
1	56+000	57+500	1.50	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
2	57+500	58+300	0.80	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
3	58+300	59+100	0.80	REGULAR	Reforço	7.47
4	59+100	59+500	0.40	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
5	59+500	60+300	0.80	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.82
6	60+300	60+900	0.60	REGULAR	Reforço	4.08
7	60+900	61+500	0.60	REGULAR	Reforço	11.33
8	61+500	62+100	0.60	REGULAR	Reforço	2.72
9	62+100	62+900	0.80	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
10	62+900	63+500	0.60	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
11	63+500	64+900	1.40	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
12	64+900	65+700	0.80	REGULAR	Reforço	2.25
13	65+700	66+100	0.40	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
14	66+100	66+900	0.80	REGULAR	Reforço	3.94
15	66+900	67+700	0.80	REGULAR	Reforço	4.00
16	67+700	68+300	0.60	MÁ	Reconstrução	10.48
17	68+300	69+500	1.20	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
18	69+500	70+300	0.80	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
19	70+300	70+700	0.40	MÁ	Reconstrução	10.06
20	70+700	71+500	0.80	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
21	71+500	72+500	1.00	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
22	72+500	72+900	0.40	REGULAR	Reforço	7.36
23	72+900	73+900	1.00	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
24	73+900	74+500	0.60	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
25	74+500	75+300	0.80	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
26	75+300	76+300	1.00	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
27	76+300	77+100	0.80	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.53
28	77+100	78+500	1.40	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
29	78+500	79+000	0.50	REGULAR	Reforço	3.34
30	79+000	79+500	0.50	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
31	79+500	80+100	0.60	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
32	80+100	81+300	1.20	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00

33	81+300	81+700	0.40	REGULAR	Reforço	4.58
34	81+700	82+300	0.60	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
35	82+300	82+700	0.40	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00
36	82+700	83+530	0.83	BOA	Apenas Correções de Superfície	0.00

Fonte: Autoria própria (2018).

5.2.2 Soluções de Restauração

O desenvolvimento do projeto de restauração proposto tem como premissa a análise do Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015). Para cada segmento homogêneo do atual projeto foram definidos tais itens:

- Percentual de área trincada: Como já citado no item 5.1.4.1, o valor foi estimado a partir do estado superficial do pavimento obtido do LVC (Levantamento Visual Contínuo) de acordo com a classificação preconizada pelo DAER (ótimo, bom, regular, ruim 1 a 4 e péssimo);
- Irregularidade longitudinal (IRI);
- Deflexões (Característica e Admissível);
- Volume Médio Diário Comercial (VMDc).

Aplicando-se o Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) verificam-se soluções variadas ao longo dos segmentos, como pode ser visto na Tabela 8:

Tabela 8: Soluções pelo Catálogo de Soluções do DNIT

SH	EXTEN- SÃO (km)	Dc (DNIT)	VMDc	IRI	TR	HR	SOLUÇÃO
1	1.50	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.47	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
2	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.82	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
3	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.97	> 10	7.47	FSp + TSD + H9
4	0.40	$1.5 D_{adm} < D_c \leq 2 D_{adm}$	2394	2.68	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
5	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.19	> 10	0.82	FSp + Mi
6	0.60	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.29	> 10	4.08	FSp + TSD + H5
7	0.60	$1.1 D_{adm} < D_c \leq 1.5 D_{adm}$	2394	5.25	> 10	11.33	REC4
8	0.60	$1.5 D_{adm} < D_c \leq 2 D_{adm}$	2394	5.07	> 10	2.72	FS1 + TSDpol + H5
9	0.80	$1.1 D_{adm} < D_c \leq 1.5 D_{adm}$	2394	3.46	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
10	0.60	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	4.25	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5
11	1.40	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.97	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
12	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.74	> 10	2.25	FSp + TSD + H4
13	0.40	$1.1 D_{adm} < D_c \leq 1.5 D_{adm}$	2394	3.82	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
14	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	5.27	> 10	3.94	FS5 + TSDpol + H6
15	0.80	$1.1 D_{adm} < D_c \leq 1.5 D_{adm}$	2394	6.08	> 10	4.00	FS5 + TSDpol + H6
16	0.60	$1.1 D_{adm} < D_c \leq 1.5 D_{adm}$	2394	4.22	> 10	10.48	Reconstrução (DNER 011/79)
17	1.20	$1.5 D_{adm} < D_c \leq 2 D_{adm}$	2394	5.17	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5
18	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	4.29	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5
19	0.40	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	4.49	> 10	10.06	Reconstrução (DNER 011/79)
20	0.80	$1.5 D_{adm} < D_c \leq 2 D_{adm}$	2394	4.69	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5
21	1.00	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.06	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
22	0.40	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.22	> 10	7.36	FSp + TSD + H9
23	1.00	$1.5 D_{adm} < D_c \leq 2 D_{adm}$	2394	3.46	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
24	0.60	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.44	> 10	0.00	FSp + Mi
25	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.49	> 10	0.00	FSp + Mi
26	1.00	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.35	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
27	0.80	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.57	> 10	0.53	FSp + TSD + H4
28	1.40	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.71	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
29	0.50	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	2.98	> 10	3.34	FSp + TSD + H4
30	0.50	$1.1 D_{adm} < D_c \leq 1.5 D_{adm}$	2394	2.93	> 10	0.00	FSp + TSD + H4
31	0.60	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	4.07	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5
32	1.20	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	5.54	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5
33	0.40	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	3.30	> 10	4.58	FSp + TSD + H5
34	0.60	$1.1 D_{adm} < D_c \leq 1.5 D_{adm}$	2394	2.24	> 10	0.00	FSp + Mi
35	0.40	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	4.18	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5
36	0.83	$D_c \leq 1.1 D_{adm}$	2394	4.50	> 10	0.00	FS5 + TSDpol + H5

Fonte: Autoria própria (2018).

Comparando a espessura de reforço determinada pela norma DNER PRO 011/79 B com as espessuras obtidas pelo Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) observa-se uma coerência de resultados.

O emprego de Tratamento Superficial Duplo com Polímero em trechos críticos (segmentos 8, 10, 14, 15, 17, 18, 20, 31, 32) é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. O uso de polímeros busca reduzir futuros problemas de trincamento que representam o histórico da rodovia atual promovendo ganhos como o aumento da flexibilidade e elasticidade às baixas temperaturas; a melhoria da resistência à fluência, trincas e deformações permanentes a altas temperaturas; a menor sensibilidade do módulo de rigidez a variações de temperaturas; o aumento da resistência a tração e melhores resultados em termos de vida de fadiga (DNIT, 2015).

Os segmentos 5, 24, 25 e 34 apresentaram boas condições estruturais de acordo com os critérios da norma DNER PRO 011/79 B. Além disso, segundo os critérios do Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015), os segmentos citados apresentam como solução a Fresagem parcial descontínua de 5 cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5 cm em concreto asfáltico e micro revestimento asfáltico a frio (FSp + Mi). Porém visando homogeneizar as soluções adotadas proporcionando uma maior conveniência durante a execução desses trechos e uma provável economia, visto que para realizar o micro revestimento asfáltico seria necessário mobilizar equipamentos diferentes daqueles que seriam utilizados nos demais segmentos, foi optado por uma solução mais conservadora a fim de homogeneizar o procedimento.

A Tabela 9 apresenta as soluções propostas ajustadas para a restauração do trecho em estudo:

Tabela 9: Soluções pelo Catálogo de Soluções do DNIT ajustadas

SEGMENTO HOMOGÊNEO				SOLUÇÃO (CATÁLOGO DNIT)	SOLUÇÃO PROPOSTA
	Inicial	Final	Extensão (km)		
1	56.000	57.500	1.5	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
2	57.500	58.300	0.8	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
3	58.300	59.100	0.80	FSp + TSD + H9	FSp + TSD + H9
4	59.100	59.500	0.4	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
5	59.500	60.300	0.80	FSp + Mi	FSp + TSD + H4
6	60.300	60.900	0.60	FSp + TSD + H5	FSp + TSD + H5
7	60.900	61.500	0.60	REC4	REC4
8	61.500	62.100	0.60	FS1 + TSDpol + H5	FSp + TSDpol + H5
9	62.100	62.900	0.80	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
10	62.900	63.500	0.60	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5
11	63.500	64.900	1.40	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
12	64.900	65.700	0.80	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
13	65.700	66.100	0.40	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
14	66.100	66.900	0.80	FS5 + TSDpol + H6	FS5 + TSDpol + H6
15	66.900	67.700	0.80	FS5 + TSDpol + H6	FS5 + TSDpol + H6
16	67.700	68.300	0.60	Reconstrução (DNER 011/79)	Reconstrução (DNER 011/79)
17	68.300	69.500	1.20	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5
18	69.500	70.300	0.80	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5
19	70.300	70.700	0.40	Reconstrução (DNER 011/79)	Reconstrução (DNER 011/79)
20	70.700	71.500	0.80	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5
21	71.500	72.500	1.00	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
22	72.500	72.900	0.40	FSp + TSD + H9	FSp + TSD + H9
23	72.900	73.900	1.00	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
24	73.900	74.500	0.60	FSp + Mi	FSp + TSD + H4
25	74.500	75.300	0.80	FSp + Mi	FSp + TSD + H4
26	75.300	76.300	1.00	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
27	76.300	77.100	0.80	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
28	77.100	78.500	1.40	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
29	78.500	79.000	0.50	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
30	79.000	79.500	0.50	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H4
31	79.500	80.100	0.60	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5
32	80.100	81.300	1.20	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5
33	81.300	81.700	0.40	FSp + TSD + H5	FSp + TSD + H5
34	81.700	82.300	0.60	FSp + Mi	FSp + TSD + H4
35	82.300	82.700	0.40	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5

36	82.700	83.530	0.83	FS5 + TSDpol + H5	FS5 + TSDpol + H5
----	--------	--------	------	-------------------	-------------------

Fonte: Autoria própria (2018).

5.2.3 Dimensionamento das Reconstruções

5.2.3.1 Segmentos 16 e 19

Para os segmentos 16 e 19, que apresentaram condição estrutural ineficiente, foi escolhida a solução de reconstrução cuja definição da estrutura é proposta com base no método do DNER (SOUZA, 1981).

Para o dimensionamento dos Segmentos 16 e 19 foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Período de Projeto = 10 anos;
- $N_{USACE} = 2,426 \times 10^7$;
- CBR do subleito = 9% (seguindo critérios utilizados no projeto original);
- CBR da base = 20%;
- Conforme Quadro 12, os coeficientes estruturais serão:
 - K_r = coeficiente estrutural do revestimento asfáltico = 2,0;
 - K_b = coeficiente estrutural da base = 1,0;
 - K_{sb} = coeficiente estrutural da sub-base = 1,0;
- R = espessura mínima de revestimento asfáltico para o tráfego de projeto (10 cm), conforme Quadro 13;
- B = espessura da base;
- SB = espessura da sub-base de Macadame Seco;
- H_m = espessura total de pavimento da seção dimensionada em cm;
- H_{20} = espessura total da base mais o revestimento em cm, assentados sobre a camada da sub-base;

A partir da Equação (6), obteve-se:

$$H_{20} = 28,53 \text{ cm}$$

$$H_m = 45,99 \text{ cm}$$

Com os resultados obtidos com a Equação (6) e com os coeficientes estruturais das camadas de revestimento asfáltico ($K = 2$) e de base granular reciclada ($K = 1$), considerando a espessura do revestimento de 10 cm para um $N_{USACE} = 1,312 \times 10^7$, pôde-se calcular a espessura da nova base:

$$R. K_R + B. K_B \geq H_{20}$$

$$10 \times 2 + B \times 1 \geq 28,53$$

$$B \geq 8,53$$

A espessura mínima construtiva para camadas granulares é de 15 cm (BRASIL, 2006c), portanto:

$$B = 15 \text{ cm}$$

Para o cálculo da sub-base, sabendo que a espessura total mínima de pavimento que deverá ser construído para suportar o tráfego estabelecido é de 45,99 cm e que a espessura da nova base será de 15 cm, obteve-se:

$$R. K_R + B. K_B + S. K_S \geq H_m$$

$$10 \times 2 + 15 \times 1 + S \times 1 \geq 45,99$$

$$S \geq 10,99$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

5.2.3.2 Segmento 7

Como pode ser observado no Quadro 25, segundo critérios do Catálogo de Soluções do DNIT, o Segmento 7 também apresenta condições estruturais insuficientes e deve ser reconstruído obedecendo o Cenário 4 (REC4).

O Cenário 4 a ser considerado é o CBR intermediário (maior que 6%) pois, segundo considerações no projeto de reciclagem, o CBR do subleito é 9%. Assim, a estrutura proposta pelo método do Catálogo de Soluções do DNIT é:

- Revestimento (CBUQ): 10,0 cm;
- Base (Brita Graduada Simples): 20 cm;
- Sub-base (Solo): 20 cm;

Como o tráfego incidente é o mesmo em todo o trecho ($N = 2,426 \times 10^7$ para um período de projeto de 10 anos) bem como o CBR do subleito (9 %), decidiu-se utilizar uma estrutura igual às encontradas para os segmentos 16 e 19 a fim de proporcionar uma maior conveniência durante a execução desses trechos. Portanto, no segmento 7, a camada granular que era de 20,0 cm de Brita Graduada Simples, passou a ser de 30,0 cm, sendo 15,0 cm de Brita Graduada Simples e 15,0 cm de Macadame Seco.

Sendo assim, a Figura 26 ilustra a configuração da estrutura adotada para os trechos de reconstruções no segmento em estudo:

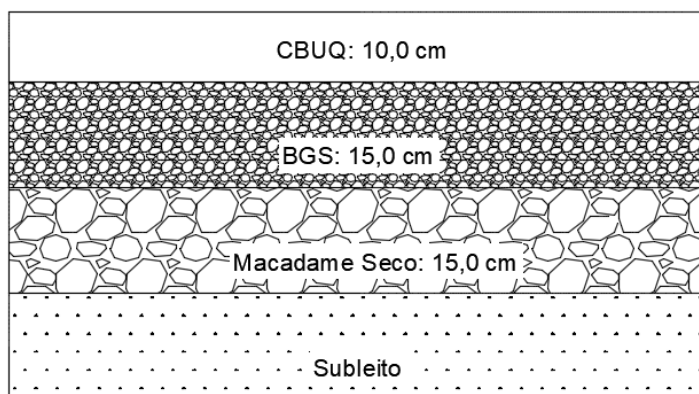


Figura 26: Configuração do pavimento para os trechos reconstruídos
Fonte: Autoria própria (2018).

5.2.4 Análise Mecanicista dos Segmentos

A análise mecanística dos segmentos foi realizada através do *software* ELSYM5. Considerou-se $N_{USACE} = 1,312 \times 10^7$ e $N_{AASHTO} = 5,12 \times 10^6$ (horizonte de projeto de 6 anos).

5.2.4.1 Reconstruções

A configuração inicial do pavimento a ser utilizada no *software* foi definida por meio do dimensionamento pelo método do DNER (SOUZA, 1981) (Figura 26) que funcionou como um pré-dimensionamento. O Quadro 17 apresenta os demais parâmetros utilizados para a realização da análise bem como suas respectivas fontes:

Quadro 17: Parâmetros inseridos no ELSYM5 para as reconstruções

Material	Expes- sura	Modulo De Resiliência (Mpa)	Módulo De Resiliência (Kgf/Cm ²)	Fonte	Coefficiente De Poisson	Fonte
REVESTIM ENTO (CBUQ)	10,0 cm	3650	36500	Pinheiro et al. (2003)	0.35	Balbo (2007)
BGS	15,0 cm	250	2500	Balbo (2007)	0.40	Balbo (2007)
MACADAM E SECO	15,0 cm	200	2000	Pitta e Trichês (2000)	0.40	Balbo (2007)
SUBLEITO	-	337	3370	Retroaná lise	0.45	Balbo (2007)

Fonte: Pitta e Trichês (2000), Pinheiro et al (2003) e Balbo (2007).

O valor do módulo de resiliência adotado para o subleito foi obtido por meio de retroanálise das bacias deflectométricas, como pode ser conferido no item 5.1.6.

O lançamento da configuração da estrutura e do carregamento no pavimento seguiu conforme descrito no item 4.1.5.4 deste estudo. Após, ocorreu o lançamento dos pontos de análise (Figura 27):

```

EVALUATION LOCATION DATA
Results are evaluated for all combinations of X-Y coordinates and
Depths of Z.
Number of X-Y positions: 3
Number of Z position : 3

```

Position	X	Y	Position	Z
1	.00	.00	1	.00
2	17.00	.00	2	9.99
3	34.00	.00	3	39.99

```

Do you want to modify the data (Y/N)?

```

Figura 27: Posicionamento dos pontos de análise no ELSYM5 (reconstruções)
Fonte: Autor (2018)

Os seguintes resultados foram obtidos para a configuração de reconstrução adotada (Figuras 28, 29 e 30 e Tabela 10):

```

Displacements
  XP      YP      UX      UY      UZ
  .00     .00     .104E-02   .000E+00   .229E-01
17.00    .00     .000E+00   .000E+00   .222E-01
34.00    .00    -.104E-02   .000E+00   .229E-01

RESULTS MENU FOR ELSYMS
-----
LAYER = 1      Z = .00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

Figura 28: Resultados da deflexão total da estrutura (reconstruções)
Fonte: Autoria própria (2018).

```

Normal Strains          Shear Strains
  XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
  .00     .00     .146E-03   .213E-03   -.223E-03   .000E+00   .798E-05   .000E+00
17.00    .00    -.388E-04   .191E-03   -.104E-03   .000E+00   .000E+00   .000E+00
34.00    .00     .146E-03   .213E-03   -.223E-03   .000E+00   -.798E-05   .000E+00

Principal -- Strains          Shear Strains
  XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
  .00     .00     .213E-03   .146E-03   -.223E-03   .436E-03   .674E-04   .368E-03
17.00    .00     .191E-03   -.388E-04   -.104E-03   .295E-03   .230E-03   .648E-04
34.00    .00     .213E-03   .146E-03   -.223E-03   .436E-03   .674E-04   .368E-03

RESULTS MENU FOR ELSYMS
-----
LAYER = 1      Z = 9.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

Figura 29: Resultados da deformação específica de tração no revestimento (reconstruções)
Fonte: Autoria própria (2018).

```

Normal Strains          Shear Strains
  XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
  .00     .00     .513E-04   .790E-04   -.228E-03   .000E+00   .147E-03   .000E+00
17.00    .00     .606E-04   .860E-04   -.255E-03   .000E+00   .000E+00   .000E+00
34.00    .00     .513E-04   .790E-04   -.228E-03   .000E+00   -.147E-03   .000E+00

Principal -- Strains          Shear Strains
  XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
  .00     .00     .790E-04   .694E-04   -.247E-03   .326E-03   .961E-05   .316E-03
17.00    .00     .860E-04   .606E-04   -.255E-03   .341E-03   .253E-04   .315E-03
34.00    .00     .790E-04   .694E-04   -.247E-03   .326E-03   .961E-05   .316E-03

RESULTS MENU FOR ELSYMS
-----
LAYER = 3      Z = 39.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>

```

Figura 30: Resultados para a deformação vertical no topo do subleito (reconstruções)
Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 10: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis (reconstruções)

RECONSTRUÇÃO - Revestimento: 10,0 Cm / Base: 15,0 Cm / Sub-Base: 15,0 Cm				
Ponto De Análise	Modelo	Valor Admissível (6 Anos)	Valor Encontrado	Vida De Fadiga (N_f)
Superfície (D)	DNER PRO 011/79 B	$57,2 \times 10^{-2}$ mm	$22,90 \times 10^{-2}$ mm	$2,38 \times 10^9$ (USACE)
Fibra Inferior Revestimento (ϵ_t)	Pinto e Preussler (1980)	$2,56 \times 10^{-4}$ mm/mm	$2,13 \times 10^{-4}$ mm/mm	$1,01 \times 10^7$ (AASHTO)
Topo do Subleito (ϵ_v)	Shell (Dormon & Metcalf, 1965)	$3,79 \times 10^{-4}$ mm/mm	$2,55 \times 10^{-4}$ mm/mm	$8,55 \times 10^7$ (USACE)

Fonte: Autoria própria (2018).

Os valores obtidos estão abaixo dos valores admissíveis para um horizonte de projeto de 6 anos, portanto, não se faz necessário realizar alterações no dimensionamento da estrutura.

Pode-se observar que o mecanismo de falha predominante na reconstrução foi a deformação específica de tração no revestimento (ϵ_t), visto que foi o valor que mais se aproximou do valor admissível. Este resultado se deve, provavelmente, ao alto volume de tráfego previsto, principalmente o tráfego comercial, pois o segmento em estudo encontra-se em uma rodovia de escoamento de produção.

5.2.4.2 Restaurações

O Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) apresenta algumas soluções que, de acordo com o próprio catálogo, pode-se considerar como menos conservadoras. Neste estudo, pode-se considerar menos conservadores aquelas que apresentam fresagem parcial do revestimento antigo (FSp + TSD + H4, FSp + TSD + H5, FSp + TSD + H9). Por utilizar uma fresagem parcial, algumas áreas do pavimento não serão fresadas, mantendo o revestimento antigo em sua totalidade (espessura média = 12,0 cm).

Portanto, para a análise no *software* ELSYM5, considerou-se o cálculo em pontos que não será realizada a fresagem do pavimento antigo. Entende-se que ao se manter o revestimento antigo a estrutura não terá um desempenho estrutural tão bom quanto se realizada a fresagem do material antigo e feita a recomposição com um material novo.

Outro motivo para esta forma de análise é que as demais configurações das soluções propostas pelo Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) encontradas para este estudo apresentam 6 ou mais camadas,

o que impossibilitaria a análise pelo ELSYM5. A Figura 31 ilustra a configuração adotada em comparação às demais:

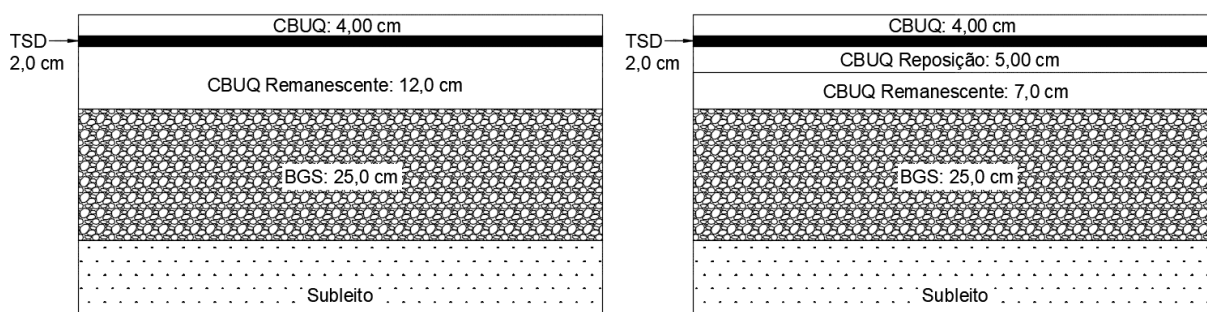


Figura 31: Comparação entre área sem fresagem (esq.) e fresada (dir.) (FSp + TSD + H4)
Fonte: Autoria própria (2018).

O Quadro 28 apresenta os demais parâmetros utilizados para a realização da análise bem como suas respectivas fontes:

Tabela 11: Parâmetros inseridos no ELSYM5 para as restaurações

Camada	Espessura (Cm)	Modulo De Resiliência (Mpa)	Modulo De Resiliência (Kgf/Cm ²)	Fonte	Coefficiente De Poisson	Fonte
REFORÇO (CBUQ)	4,0, 5,0 e 9,0	3650	36500	Pinheiro et al. (2003)	0.35	Balbo (2007)
TSD	2,0	500	5000	Thuler (2005)	0.35	Balbo (2007)
REVEST. REMANESCENTE (CBUQ)	12,0	2764	27640	Retroanálise	0.35	Balbo (2007)
BGS	25,0	114	1140	Retroanálise	0.40	Balbo (2007)
SUBLEITO	-	337	3370	Retroanálise	0.45	Balbo (2007)

Fonte: Adaptado de Pinheiro et al (2003), Thuler (2005), Balbo (2007).

O valor do módulo de resiliência adotado para as camadas de revestimento remanescente, base (BGS) e subleito foram obtidos por meio de retroanálise das bacias deflectométricas, como pode ser conferido no item 5.1.6.

O lançamento dos parâmetros e do carregamento no pavimento seguiu conforme descrito no item 4.1.5.4 deste estudo.

De forma análoga à reconstrução, os pontos de análise e suas respectivas coordenadas foram informados no *software*, porém diferindo em relação à

profundidade dos pontos analisados. A Tabela 12 mostra as profundidades analisadas em cada configuração de restauração:

Tabela 12: Profundidades analisadas nas soluções de restauração

Análise	Profundidade Analisada (Cm)		
	FSp + TSD + H4	FSp + TSD + H5	FSp + TSD + H9
Deflexão Total Da Estrutura (D)	0,00	0,00	0,00
Deformação Específica De Tração Na Fibra Inferior Do Reforço (ϵ_t)	3,99	4,99	8,99
Deformação Vertical No Subleito (ϵ_v)	42,99	43,99	47,99

Fonte: Autoria própria (2018).

As Tabelas 13, 14 e 15 mostram os resultados obtidos para a análise mecanicista das reconstruções. As capturas de tela mostrando os resultados no ELSYM5 encontram-se no Apêndice B:

Tabela 13: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis para TSD + H4

TSD + H4				
Ponto De Análise	Modelo	Valor Admissível (6 Anos)	Valor Encontrado	Vida De Fadiga (N_f)
Superfície (D)	DNER PRO 011/79 B	$57,2 \times 10^{-2}$ mm	$22,5 \times 10^{-2}$ mm	$2,63 \times 10^9$ (USACE)
Fibra Inferior Revestimento (ϵ_t)	Pinto e Preussler (1980)	$2,56 \times 10^{-4}$ mm/mm	$4,21 \times 10^{-5}$ mm/mm	$3,99 \times 10^9$ (AASHTO)
Topo do Subleito (ϵ_v)	Shell (Dormon & Metcalf, 1965)	$3,79 \times 10^{-4}$ mm/mm	$2,72 \times 10^{-4}$ mm/mm	$6,29 \times 10^7$ (USACE)

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 14: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis para TSD + H5

TSD + H5				
Ponto De Análise	Modelo	Valor Admissível (6 Anos)	Valor Encontrado	Vida De Fadiga (N_f)
Superfície (D)	DNER PRO 011/79 B	$57,2 \times 10^{-2}$ mm	$21,6 \times 10^{-2}$ mm	$3,31 \times 10^9$ (USACE)
Fibra Inferior Revestimento (ϵ_t)	Pinto e Preussler (1980)	$2,56 \times 10^{-4}$ mm/mm	$6,11 \times 10^{-5}$ mm/mm	$1,01 \times 10^9$ (AASHTO)
Topo do Subleito (ϵ_v)	Shell (Dormon & Metcalf, 1965)	$3,79 \times 10^{-4}$ mm/mm	$2,57 \times 10^{-4}$ mm/mm	$2,26 \times 10^8$ (USACE)

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 15: Comparação entre resultados obtidos e admissíveis para TSD + H9

TSD + H9				
Ponto De Análise	Modelo	Valor Admissível (6 Anos)	Valor Encontrado	Vida De Fadiga (N_f)
Superfície (D)	DNER PRO 011/79 B	$57,2 \times 10^{-2}$ mm	$18,2 \times 10^{-2}$ mm	$8,77 \times 10^9$ (USACE)
Fibra Inferior Revestimento (ϵ_t)	Pinto e Preussler (1980)	$2,56 \times 10^{-4}$ mm/mm	$8,50 \times 10^{-5}$ mm/mm	$2,99 \times 10^8$ (AASHTO)
Topo do Subleito (ϵ_v)	Shell (Dormon & Metcalf, 1965)	$3,79 \times 10^{-4}$ mm/mm	$2,08 \times 10^{-4}$ mm/mm	$2,26 \times 10^8$ (USACE)

Fonte: Autoria própria (2018).

Através dos resultados obtidos, observa-se que as restaurações propostas pelo Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) também atendem aos critérios adotados neste estudo.

Observa-se uma elevada vida de fadiga em todas as soluções de restauração. Severi et al (1998) e Patriota (2004) citam que o *software* ELSYM5 considera que as camadas do pavimento são homogêneas, isotrópicas e elásticas, caracterizando-se por espessuras uniformes, módulos de resiliência e coeficientes de Poisson constantes. Através das sondagens e da retroanálise pode-se perceber que o segmento em estudo apresenta uma estrutura bastante heterogênea, portanto, na prática, as vidas de fadiga das soluções de restauração podem se apresentar com valores abaixo em relação aos encontrados nesse estudo.

Franco (2000) observou que o valor da deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento é muito suscetível a variações no módulo de resiliência da camada de base, onde para uma variação de 20% no valor do módulo de resiliência, observou-se uma variação de 80% no dano de fadiga.

Nóbrega (2003) em seu estudo para determinar a influência do módulo de resiliência no dimensionamento de reforço da estrutura de um pavimento, concluiu que o valor das deformações de tração na fibra inferior dos reforços tem uma relação direta com o módulo de resiliência das camadas de revestimento antigo. Portanto, levando-se em consideração o alto valor do módulo de resiliência do revestimento antigo (se comparado ao de camada de bases granulares onde utiliza-se brita graduada simples, por exemplo) o pequeno valor encontrado para a deformação específica de tração na fibra inferior da camada de reforço é coerente.

5.3 COMPARATIVO FINANCEIRO

A Tabela 16 apresenta o orçamento referente à solução de restauração por reciclagem de pavimento e a Tabela 17 apresenta tabela referente à solução utilizando a norma DER PRO 011/79 B e o Catálogo de Soluções do DNIT. As composições dos custos referentes aos serviços encontram-se no Apêndice C.

De acordo com o Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2015) o trincamento é sanado com a proposição de fresagem e recomposição em CBUQ. Para o cálculo da área da fresagem parcial a ser realizada, foi levado em conta os dados obtidos por meio do Levantamento Visual Contínuo (item 5.1.4.1). O mesmo apresenta 53% do pavimento com trincamento severo, portanto, de forma conservadora devido à falta de dados mais precisos, considerou-se uma área de fresagem estimada de 60%.

Tabela 16 Orçamento do projeto de reciclagem

SERVIÇO	QUANTIDADE	UNIDADE	CUSTO (R\$/km)	CUSTO TOTAL (R\$)
RECIC + CBUQ8	27530	m	367.324,05	10.112.431,09
Fresagem Contínua (7 cm)	13.875,1	m ³	20.712,55	570.216,39
Reciclagem	35.678,9	m ³	133.343,48	3.670.946,07
Imprimação	198.216	m ²	17.310,38	476.554,64
Pintura de Ligação (2x)	198.216	m ²	6.061,50	166.872,96
CBUQ (8 cm) Faixa C	38.057,5	t	189.896,15	5.227.841,02
TOTAL				10.112.431,09

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 17: Orçamento da alternativa de projeto

SERVIÇO	QUANTIDADE	UNIDADE	CUSTO (R\$/km)	CUSTO TOTAL (R\$)
RECONSTRUÇÃO	1600	m	604.163,52	966.661,64
Remoção do Revestimento Existente (12 cm)	1.382,4	m ³	9.175,68	14.681,09
Remoção das Camadas Granulares (25 cm)	2.880	m ³	16.938,00	27.100,80
Regularização do Subleito	11.520	m ²	5.406,63	8.650,60
Sub-base (15 cm)	1.728	m ³	141.490,29	226.384,46
Base (15 cm)	1.728	m ³	164.349,37	262.959,00
Imprimação	11.520	m ²	17.310,38	27.696,60
Pintura de Ligação (2x)	23.040	m ²	12.122,99	19.396,78
CBUQ (10 cm) Faixa C	2.764,8	t	237.370,19	379.792,30
FSp + TSD + H4	15.100	m	301.308,44	4.425.618,02
Fresagem Descontínua (60%)	5.436	m ³	20.552,89	186.209,23
Reposição CBUQ (5 cm) Faixa C	13.046,4	t	118.685,09	1.792.144,92
Pintura de Ligação (3x)	326.160	m ²	18.184,49	274.585,73
Tratamento Superficial Duplo	108.720	m ²	48.937,89	738.962,21
CBUQ (4 cm) Faixa C	10.437,12	m ³	94.948,08	1.433.715,94
FSp + TSD + H5	1.000	m	325.045,46	316.824,31
Fresagem Descontínua (60%)	360	m ³	20.552,89	12.331,74
Reposição CBUQ (5 cm) Faixa C	864	t	118.685,09	118.685,09
Pintura de Ligação (3x)	21.600	m ²	18.184,49	18.184,49
Tratamento Superficial Duplo	7.200	m ²	48.937,89	48.937,89
CBUQ (5 cm) Faixa C	864	t	118.685,09	118.685,09
FSp + TSD + H9	1.200	m	419.993,54	494.126,86
Fresagem Descontínua (60%)	432	m ³	20.552,89	14.798,08
Reposição CBUQ (5 cm) Faixa C	1.036,8	t	118.685,09	142.422,11
Pintura de Ligação (3x)	25.920	m ²	18.184,49	21.821,38
Tratamento Superficial Duplo	8.640	m ²	48.937,89	58.725,47
CBUQ (9 cm) Faixa C	1.866,24	t	213.633,17	256.359,80
FS5 + TSDpol + H5	7.030	m	327.036,78	2.299.068,59
Fresagem Contínua (5 cm)	2.530,8	m ³	14.794,68	104.006,57
Reposição CBUQ (5 cm) Faixa C	6.073,9	t	118.685,09	834.356,21
Pintura de Ligação (3x)	151.848	m ²	18.184,49	127.836,93
TSD com Adição de Polímero	50.616	m ²	56.687,43	398.512,67
CBUQ (5 cm) Faixa C	6.073,9	t	118.685,09	834.356,21
FS5 + TSDpol + H6	1.600	m	350.773,80	561.238,08
Fresagem Contínua 5 cm	576	m ³	14.794,68	23.671,48
Reposição CBUQ (5 cm) Faixa C	1.382,4	t	118.685,09	189.896,15
Pintura de Ligação (3x)	3.4560	m ²	18.184,49	29.095,18
TSD com Adição de Polímero	11.520	m ²	56.687,43	90.699,90
CBUQ (6 cm) Faixa C	1.658,9	t	142.422,11	227.875,38
TOTAL			329.224,03	9.063.537,50

Fonte: Autoria própria (2018).

Analisando-se as tabelas de orçamento, em relação ao custo global, encontram-se os valores de R\$ 9.063.537,50 para a alternativa de projeto e R\$ 10.112.431,09 para a solução por reciclagem, mostrando uma diferença de R\$ 1.048.893,61, ou seja, para esta situação, a opção pela alternativa de projeto é 10,37% mais barata que a reciclagem de pavimentos.

Analisando-se o custo por quilômetro, pode-se notar que a reciclagem de pavimento apresenta um valor muito semelhante (um pouco superior) às soluções de restaurações e consideravelmente inferior à reconstrução total do pavimento. Isto evidencia que a relação custo-benefício da reciclagem de pavimento depende diretamente do estado do pavimento a ser restaurado, pois caso a extensão de segmentos a serem reconstruídos fosse maior, possivelmente a opção pela reciclagem de pavimento se mostraria mais barata.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo apresentar uma alternativa de dimensionamento pelo método empírico-mecanicista para a restauração de um segmento em uma rodovia onde será executada a reciclagem de pavimento como solução única. O estudo ocorreu através da análise de dados levantados no segmento em questão, obtido por meio de projeto de restauração rodoviária existente.

Com base nos dados obtido por meio dos levantamentos deflectométricos, verificou-se que de forma geral as deflexões apresentam-se mais baixas que as deflexões admissíveis, sendo um indicativo de uma condição estrutural aceitável em praticamente todo trecho. No que tange à condição funcional observa-se que em termos gerais o segmento apresenta condições ruins de rolamento, sendo verificadas ocorrências de trincamento na superfície de forma geral, apresentando a necessidade de maior atenção nas soluções de caráter funcional.

O levantamento deflectométrico realizado por meio do FWD apresentou valores dispersos devido à grande heterogeneidade encontrada na estrutura do segmento, como pode ser observado nas sondagens do pavimento onde o mesmo apresenta grande variação nas espessuras das camadas e também devido à umidade encontrada em suas camadas subjacentes que, como já discutido, é um fator que interfere no levantamento de dados por FWD. Destaca-se também o fato de os levantamentos serem realizados em um único sentido da via e apresentarem um espaçamento de levantamento de 200 metros, onde com um levantamento menos espaçado e realizado em ambos os sentidos seria possível obter dados mais precisos do comportamento estrutural do pavimento.

O processo de retroanálise é um processo que depende da experiência do projetista e representa apenas parte da avaliação estrutural do pavimento. Porém é um processo importante, onde diferenças relacionadas com a metodologia utilizada são refletidas no dimensionamento da camada de reforço, podendo comprometer o resultado final da análise da capacidade estrutural do pavimento. Sendo assim, os ensaios de laboratório são indispensáveis para auxiliarem a retroanálise, fornecendo faixas de valores de módulos mais confiáveis para os materiais.

Através deste estudo, foi possível perceber que o método de dimensionamento empírico-mecanicista, ao considerar mais variáveis no cálculo de dimensionamento,

promove uma análise detalhada da estrutura a ser executada, podendo prever comportamentos nas camadas que não são considerados em métodos semi-empíricos, por exemplo. Desta forma, o uso do método empírico-mecanicista permite a elaboração de um pavimento mais durável e com custos de execução mais baixos.

Seria de grande valia se os órgãos normalizadores apresentassem uma metodologia completa e padronizada para o dimensionamento empírico-mecanicista e de retroanálise das bacias deflectométricas, definindo critérios de aceitação para os dados levantados e parâmetros a serem utilizados. Assim, o agente fiscalizador poderia verificar o projeto de acordo com os critérios assumidos pelo projetista antes e ao final da obra.

A degradação dos pavimentos rodoviários flexíveis evolui ao longo do tempo devido, principalmente, devido às cargas oriundas do tráfego de veículos. As análises efetuadas mostram que quanto maior o horizonte de projeto e o nível de degradação do pavimento, os métodos analisados tendem a aumentar a espessura do reforço, de tal modo que, a substituição de uma medida funcional para uma medida estrutural não causa significativo impacto em termos financeiros. Este fato pode ser observado na progressão do custo por quilômetro referente às soluções do Catálogo de Soluções/DNIT, pois quanto mais conservadora a solução de restauração, mais ela se aproximará ao valor do custo/km da reconstrução.

O projeto de reciclagem determina que seja adotada uma única solução para todo o trecho. Porém, a grande variabilidade de espessuras das camadas, principalmente do revestimento existente, fará com que a granulometria da nova base não seja uniforme, tornando ineficaz a dosagem realizada. Portanto, tendo em vista essa heterogeneidade encontrada no pavimento, pode-se considerar que a reciclagem de pavimento seria melhor empregada se a dosagem da base (teor de adições) fosse determinada conforme situação de cada segmento homogêneo.

A prática da reciclagem de pavimentos, mostra-se uma solução eficiente de restauração de pavimentos rodoviários, porém, pode apresentar um custo elevado em relação às demais soluções e exigir um levantamento detalhado da situação em que o pavimento a ser reciclado se encontra. Portanto, é indispensável que na concepção do projeto sejam realizadas avaliações minuciosas ao longo da via de modo a confirmar as características dos materiais que compõe a estrutura do pavimento a fim de se obter a solução que se enquadre no melhor custo-benefício para cada caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRA – Asphalt Recycling and Reclaiming Association. **Basic Asphalt Recycling Manual**. Annapolis/ EUA, 2001.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, J. T. **Pavimentos asfálticos híbridos-rígidos: perspectivas para baixos e elevados volumes de tráfego**. In: 36ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2005, Curitiba. Anais... Associação Brasileira de Pavimentação. 1 CD-ROM.

BAPTISTA, Cyro N. **Pavimentação: tomo 1. Ensaio fundamentais para a pavimentação – dimensionamentos dos pavimentos flexíveis**. 3ª ed. Porto Alegre: Globo, 1978.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de de conservação rodoviária**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006a.

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

_____. **Manual de Pavimentação. 3ª ed.** Rio de Janeiro, 2006c.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani. **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de trafego**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BERNUCCI, Liedi Bariani. MOTTA, Laura Maria Goretti. CERATTI, Jorge Augusto Pereira. SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ABEDA, 2006.

CARDOSO, S. H. **Faixas de Módulos Dinâmicos (Elásticos) Obtidos por Retroanálises Durante Sete Anos**. 29ª Reunião de Pavimentação. Cuiabá/MT, v. 2, p. 377-401, 1995.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, CNT, 2017.

CNT. Disponível em:
 <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ESTAT%C3%8DSTICO/BOL ETIM%20ESTAT%C3%8DSTICO%202018/Boletim%20Estat%C3%ADstico%20-%2001%20-%202018.pdf>> Acesso em 05/04/2018.

COSTA, C.; PINTO, S. **O uso de Reciclagem de pavimentos como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil.** 2011.

DAER/RS – DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL. **DAER-ES-P 08/91: Base Granular.** 1991. 8p

_____. **DAER-ES-P 06/91: Sub-base de areia.** 1991. 8p

DER – Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. **IP-DE-P00/001 Projeto de Pavimentação.** São Paulo, 2006.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **PRO 011/79: avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, procedimento B.** Rio de Janeiro, 1979a.

_____. **TER 02/79: Conservação, restauração e melhoramentos - Terminologia.** Rio de Janeiro, 1979b.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Mapas Multimodais.** Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/download/mapas-multimodais/mapas-multimodais/rs.pdf>>. Acesso em 27/10/2018.

_____. **DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia.** Rio de Janeiro: IPR, 2003.

_____. **DNIT 006/2003 PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.** Rio de Janeiro: IPR, 2003b.

_____. **DNIT 167/2013-ES: Reciclagem in situ de pavimentos com adição de Cimento Portland. – Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro: IPR, 2013.

_____. **RT-002/2014: Relatório técnico – Catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis.** DYNATEST ENGEMAP (Consórcio). Revisão 03. Rio de Janeiro, 2015.

DORMON, G. M.; METCALF, C. T. **Design curves for flexible pavements based on layered system theory.** Highway Research Record, v. 71, p. 69-84, 1965.

FRANCO, F.A.C de P. **Um Sistema para Análise Mecânica de Pavimentos Asfálticos.** Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

FRANCO, F. A. C. de P. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV.** 2007. 294 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GONÇALVES, FJP. **Diagnóstico e manutenção de pavimentos: ferramentas auxiliares.** Universidade, 2007.

HAAS, Ralph; HUDSON, W. Ronald. **Pavement asset management**. John Wiley & Sons, 2015.

JOHNSTON, Marlova Grazziotin. Estudo de obtenção do número estrutural em pavimentos flexíveis. 2001. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MACÊDO, J. A. G. (1996). **Interpretação de Ensaio Deflectométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis**. Tese de Doutorado. COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, v. 23, 1997.

MOMM, L.; DOMINGUES, F.A.A. - **“Reciclagem de Pavimentos à Frio in situ Superficial e Profunda”**. In: Reunião Anual de Pavimentação, 29a, Cuiabá, 1995.

MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de carga repetidas**. 1991. 366p. 1991. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil)–Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NÓBREGA, Eduardo Suassuna. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2003

OLIVEIRA, P. C. A. **Crítérios e parâmetros de projeto utilizados em obras de reciclagem com adição de brita e cimento**. Tecnopav, 2011

OLIVEIRA, P. C. A. **Controles construtivos utilizados em obras de reciclagem profunda**. Pavisán, 2007.

OLIVEIRA, P. C. A. **Contribuição ao Estudo da Técnica de Reciclagem Profunda na Recuperação de Pavimentos Flexíveis**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 2003.

PATRIOTA, M. B. **Análise laboratorial de concreto betuminoso usinado à quente modificado com adição de borracha reciclada de pneus – processo seco**. Universidade Federal do Pernambuco. Recife, 2004.

PIARC. **Semi-Rigid Pavements**. Permanent International Association of Road Congresses (PIARC), Technical Committee on Flexible Roads, Paris, France (1991)

PITTA, D.M., BALBO, J.T. (1998). **“Estudo de Caso de Retroanálise de Superfícies Deformadas em Pavimentos Asfálticos da Região Sul do Brasil”**. In: 31ª Reunião Anual de Pavimentação. V. 2 pp. 815-834, São Paulo, SP, Brasil.

PREUSSLER, E.S., VALE, A.F., CARVALHO, R.L.E. et. al.. **“Caracterização da Condição Elástica do Subleito”**. In: 32ª Reunião Anual de Pavimentação. V. 1 pp. 331-336, Brasília, DF, 2000.

PREUSSLER, E. S. **Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço**. Rio de Janeiro, 1983.

PRITHVI S. K., RAJIB B. M.. **Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book**. Washington, DC, 1997.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. v. I. São Paulo: Pini, 2008.

SEVERI, Andréa Arantes et al. **Verificação à Fadiga de Revestimentos Asfálticos e Bases Cimentadas “Programa Pavimentos Asfálticos v. 1.0”**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. 27 p. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/ptr/Imp/download/DER.PDF>>. Acesso em: 21 set. 2018.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. IPR Publ, v. 667, n. 3, 1981.

VILLELA, A. R. A.; MARCON, A. F. **Avaliação Estrutural de Pavimentos Utilizando um Método Simplificado de Retroanálise–Retran-2CL**. 33ª Reunião Anual de Pavimentação, p. 622-633, 2001.

WIRTGEN GROUP. **Wirtgen Road Construction Manual** - Internal Training Brochure for sales Managers and service Engineers. Windhagen/Alemanha, 2002.

WIRTGEN Group. **Wirtgen Cold Recycling Technology**. 1ª ed. Windhagen/Alemanha, 2012.

ANEXO A

A.1 – CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Tráfego		VMDc <= 800		800 < VMDc <= 1600			1600 < VMDc <= 2400				2400 < VMDc <= 3200				VMD > 3200			
		Dc/Dadm <= 1,1	Dc/Dadm > 1,1	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	Dc/Dadm > 1,5	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2
IRI <= 2,5 m/km	TR <= 10	Mi	H4	Mi	H4	H7	Mi	H4	H9	H10	Mi	H4	Hpol8	Hpol10	Mi	Hpol4	Hpol8	Hpol10
	TR > 10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H7	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H9	FSp+H10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10	FSp+Hpol4	FSp+Hpol4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10
2,5 m/km < IRI <= 4 m/km	TR <= 10	REP+TSD	H4	H4	H4	H7	H4	H4	H9	H12	H4	H4	Hpol8	Hpol10	Hpol4	Hpol4	Hpol8	Hpol10
	TR > 10	FSp+REP+TSD	FSp+REP+H4	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H7	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H9	REC4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+Hpol8	REC4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol8	REC6
IRI > 4 m/km	TR <= 10	REP+H4	REP+H4	REP+H5	REP+H6	REP+H8	REP+H5	REP+H6	REP+H10	REC4	REP+H5	REP+H6	REC4	REC4	REP+Hpol5	REP+Hpol6	REC5	REC6
	TR > 10	FS3+TSD+H4	FS5+TSD+H6	FS5+TSD+H5	FS5+TSD+H6	REC3	FS5+TSDpol+H5	FS5+TSDpol+H6	REC4	REC4	FS5+TSDpol+H5	FS5+TSDpol+H6	REC4	REC4	FS5+TSDpol+Hpol4	REC5	REC5	REC6

A.2 – CENÁRIO 4 – CATÁLOGO DE SOLUÇÕES/DNIT

Método do DNIT - Cenário 4**CBR baixo (<6%)**

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	5,00E+07
	CBR	(%)	5

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	30,4
	H ₁₂	(cm)	41,3
	H _{proj.}	(cm)	69,7

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	2,0	20,0	20,0	30,4	SIM
Base	BGS	20	1,0	20,0	40,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	60,0	41,3	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	16,0	76,0	69,7	SIM

CBR intermediário (>6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	5,00E+07
	CBR	(%)	8

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	30,4
	H ₈	(cm)	52,6
	H _{proj.}	(cm)	52,6

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	2,0	20,0	20,0	30,4	SIM
Base	BGS	20	1,0	20,0	40,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	60,0	52,6	SIM
Reforço	Solo		0,8	0,0	60,0	52,6	SIM

ANEXO B

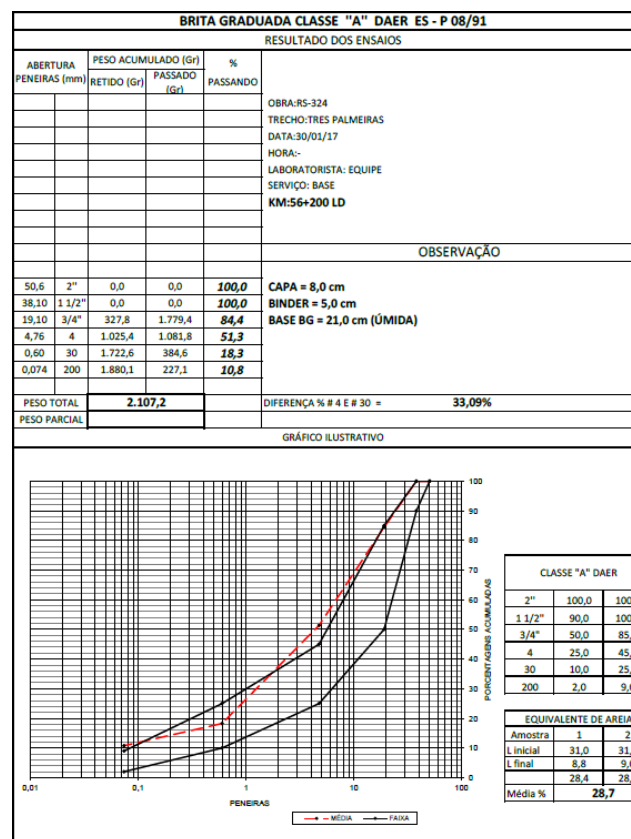
RELATÓRIOS DE SONDAGEM

Sonda Rotativa

ESTACA/FURO/Km	CAMADA (CM)		POSIÇÃO	DISTÂNCIA DO EIXO	N.A.	IDENTIFICAÇÃO VISUAL
	DE	A				
57 + 500	0,00	13,00	LD			C.B.U.Q
60 + 000	0,00	7,90	LE			C.B.U.Q
62 + 500	0,00	5,50	LD			C.B.U.Q
65 + 000	0,00	8,00	LE			C.B.U.Q
67 + 500	0,00	6,00	LD			C.B.U.Q
70 + 000	0,00	6,00	LE			C.B.U.Q
72 + 500	0,00	9,00	LD			C.B.U.Q
75 + 000	0,00	15,00	LE			C.B.U.Q
77 + 500	0,00	11,00	LD			C.B.U.Q
80 + 000	0,00	5,00	LE			C.B.U.Q
82 + 500	0,00	11,60	LD			C.B.U.Q

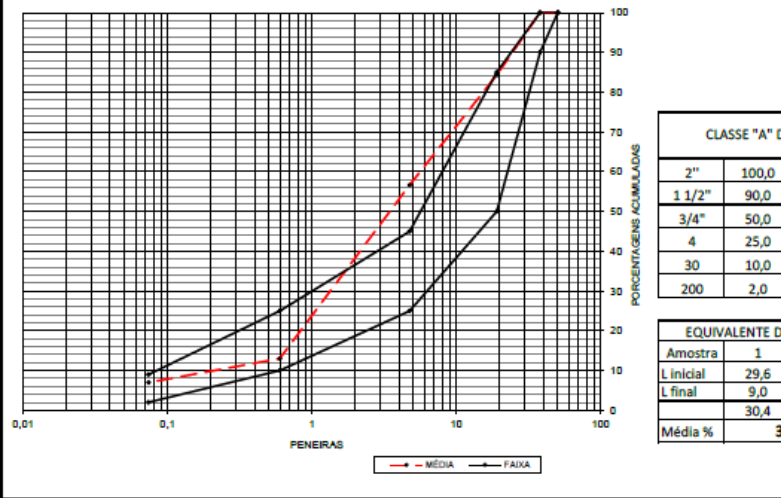
Poços de Sondagem

ESTACA/FURO/Km	CAMADA		POSIÇÃO	DISTÂNCIA DO EIXO	N.A.	IDENTIFICAÇÃO VISUAL
	DE	A				
56 + 500	0,00	0,09	LD			C.B.U.Q
	0,09	0,32				BASE DE BRITA GRADUADA MARROM
	0,32	0,48				SUB BASE DE ARGILA ARENOSA VERMELHA COM PEDREGULHO
61 + 500	0,48	0,99	LE			ARGILA ARENOSA VERMELHA
	0,00	0,10				C.B.U.Q
	0,10	0,43				BASE E SUB BASE DE BRITA GRADUADA MARROM
66 + 500	0,43	1,10	LD			ARGILA ARENOSA VERMELHA
	0,00	0,10				C.B.U.Q
	0,10	0,44				BASE E SUB BASE DE BRITA GRADUADA MARROM
71 + 500	0,44	0,90	LE			ARGILA ARENOSA AMARELA COM PEDREGULHO
	0,00	0,06				C.B.U.Q
	0,06	0,10				P.M.F
70 + 500	0,10	0,41	LD			BASE E SUB BASE DE BRITA GRADUADA MARROM
	0,41	1,00				ARGILA ARENOSA VERMELHA
	0,00	0,11				C.B.U.Q
81 + 500	0,11	0,17	LE			P.M.F
	0,17	0,52				BASE E SUB BASE DE BRITA GRADUADA MARROM
	0,52	0,80				ARGILA ARENOSA MARROM E AMARELA COM PEDREGULHO
	0,80	1,00				ARGILA ARENOSA VERMELHA
	0,00	0,11				C.B.U.Q
	0,11	0,16				P.M.F
	0,16	0,50				BASE E SUB BASE DE BRITA GRADUADA MARROM
	0,50	0,90				ARGILA ARENOSA VERMELHA COM PEDREGULHO



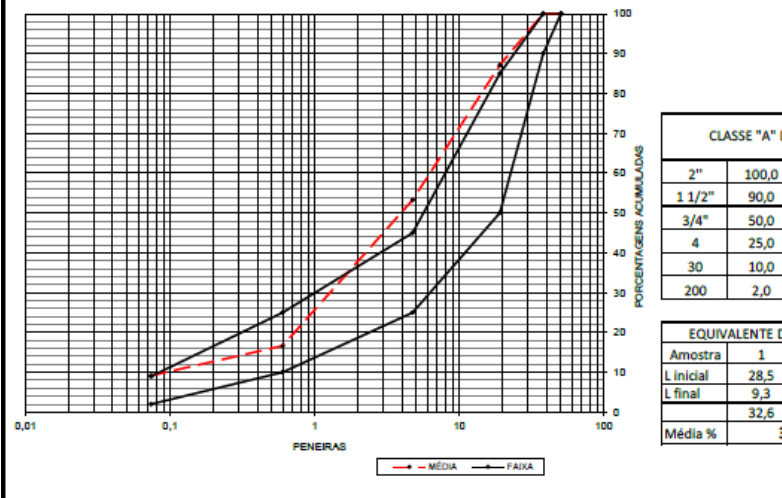
BRITA GRADUADA CLASSE "A" DAER ES - P 08/91				
RESULTADO DOS ENSAIOS				
ABERTURA PENEIRAS (mm)	PESO ACUMULADO (Gr)		%	
	RETIDO (Gr)	PASSADO (Gr)	RETIDO	PASSANDO
OBRA:RS-324				
TRECHO:TRES PALMEIRAS				
DATA:30/01/17				
HORA:-				
LABORATORISTA: EQUIPE				
SERVIÇO: BASE				
KM:58+040 LE				
OBSERVAÇÃO				
50,6	2"	0,0	0,0	100,0
38,10	1 1/2"	0,0	0,0	100,0
19,10	3/4"	325,7	1.749,1	84,3
4,76	4	899,5	1.175,3	56,6
0,60	30	1.805,1	269,7	13,0
0,074	200	1.929,6	145,2	7,0
PESO TOTAL		2.074,8	DIFERENÇA % # 4 E # 30 = 43,65%	
PESO PARCIAL				

GRÁFICO ILUSTRATIVO



BRITA GRADUADA CLASSE "A" DAER ES - P 08/91				
RESULTADO DOS ENSAIOS				
ABERTURA PENEIRAS (mm)	PESO ACUMULADO (Gr)		%	
	RETIDO (Gr)	PASSADO (Gr)	RETIDO	PASSANDO
OBRA:RS-324				
TRECHO:TRES PALMEIRAS				
DATA:30/01/17				
HORA:-				
LABORATORISTA: EQUIPE				
SERVIÇO: BASE				
KM:59+970 LD				
OBSERVAÇÃO				
50,6	2"	0,0	0,0	100,0
38,10	1 1/2"	0,0	0,0	100,0
19,10	3/4"	248,4	1.681,3	87,1
4,76	4	901,9	1.027,8	53,3
0,60	30	1.608,9	320,8	16,6
0,074	200	1.752,9	176,8	9,2
PESO TOTAL		1.929,7	DIFERENÇA % # 4 E # 30 = 36,64%	
PESO PARCIAL				

GRÁFICO ILUSTRATIVO

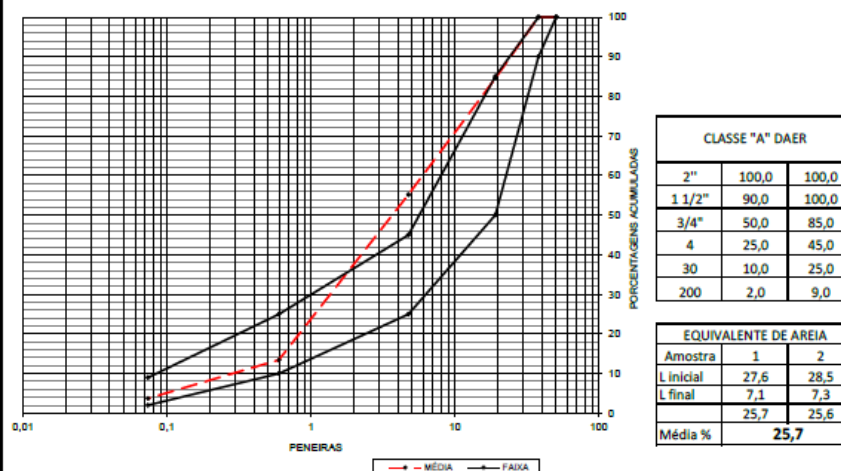


BRITA GRADUADA CLASSE "A" DAER ES - P 08/91

RESULTADO DOS ENSAIOS

ABERTURA PENEIRAS (mm)	PESO ACUMULADO (Gr)		%
	RETIDO (Gr)	PASSADO (Gr)	
			PASSANDO
OBRA:RS-324			
TRECHO:TRES PALMEIRAS			
DATA:30/01/17			
HORA:-			
LABORATORISTA: EQUIPE			
SERVIÇO: BASE			
KM:62+170 LE			
OBSERVAÇÃO			
NÃO ENSAIADO (SEM CONDIÇÕES)			
50,6	2"	0,0	0,0
38,10	1 1/2"	0,0	0,0
19,10	3/4"	385,9	2.105,4
4,76	4	1.116,8	1.374,5
0,60	30	2.156,8	334,5
0,074	200	2.398,6	92,7
PESO TOTAL		2.491,3	
PESO PARCIAL			
		DIFERENÇA % # 4 E # 30 = 41,75%	

GRÁFICO ILUSTRATIVO

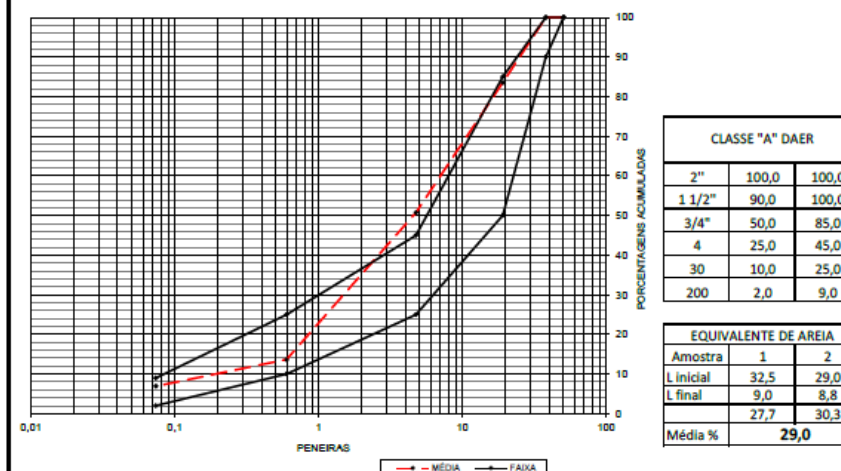


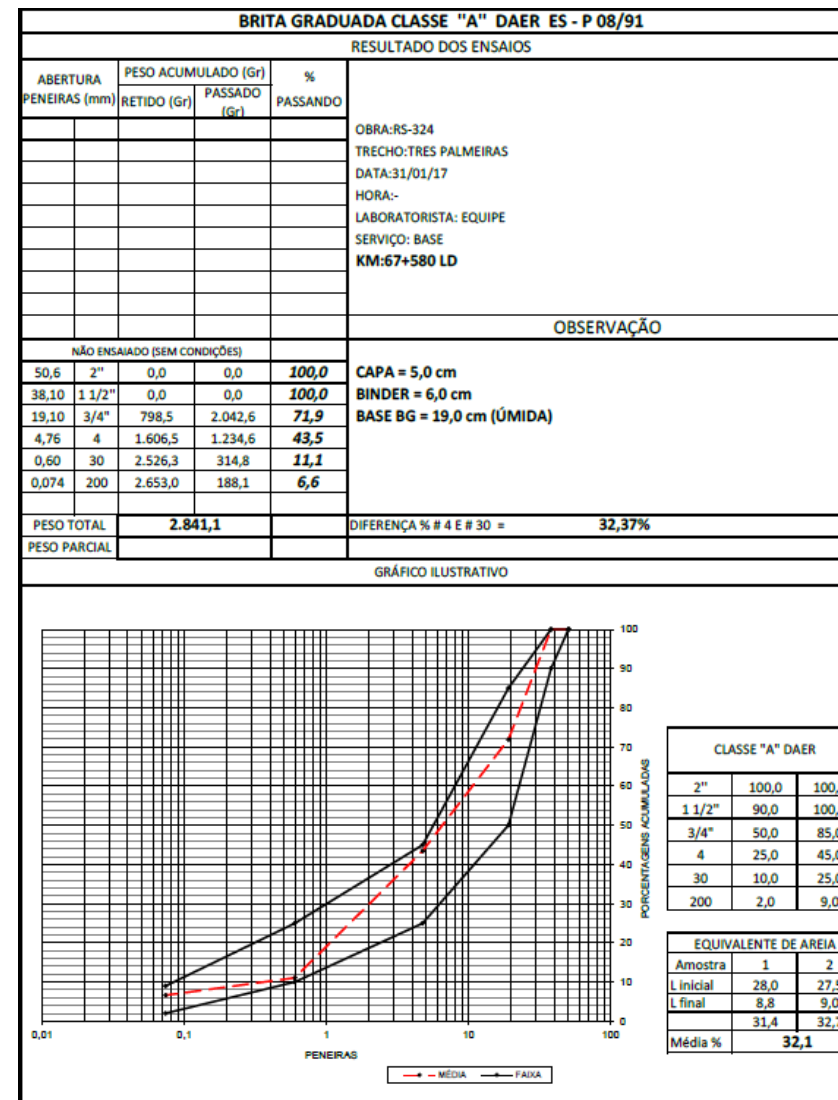
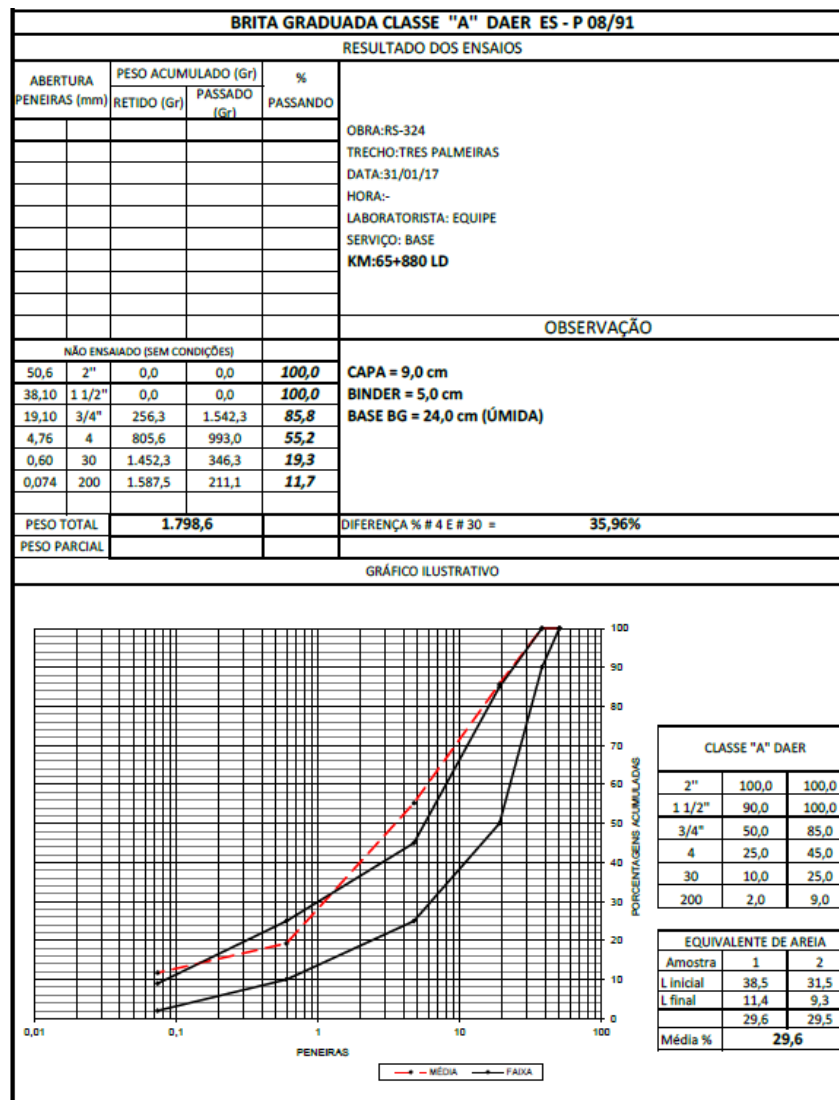
BRITA GRADUADA CLASSE "A" DAER ES - P 08/91

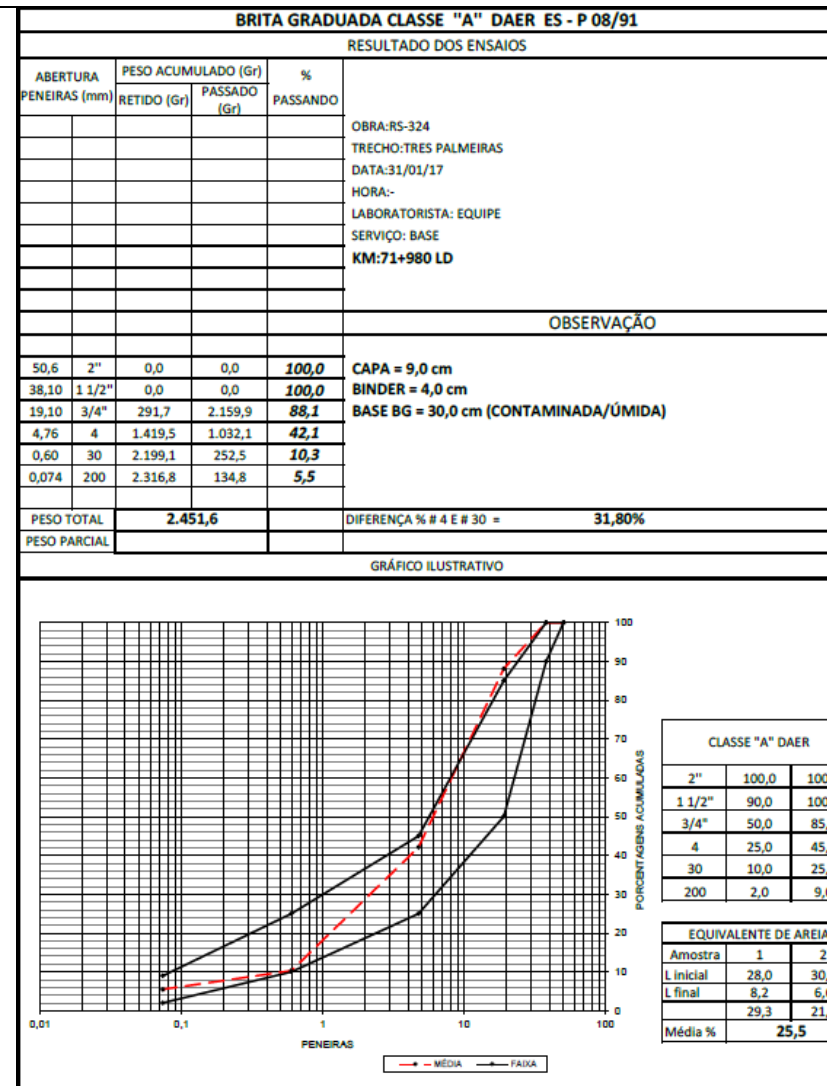
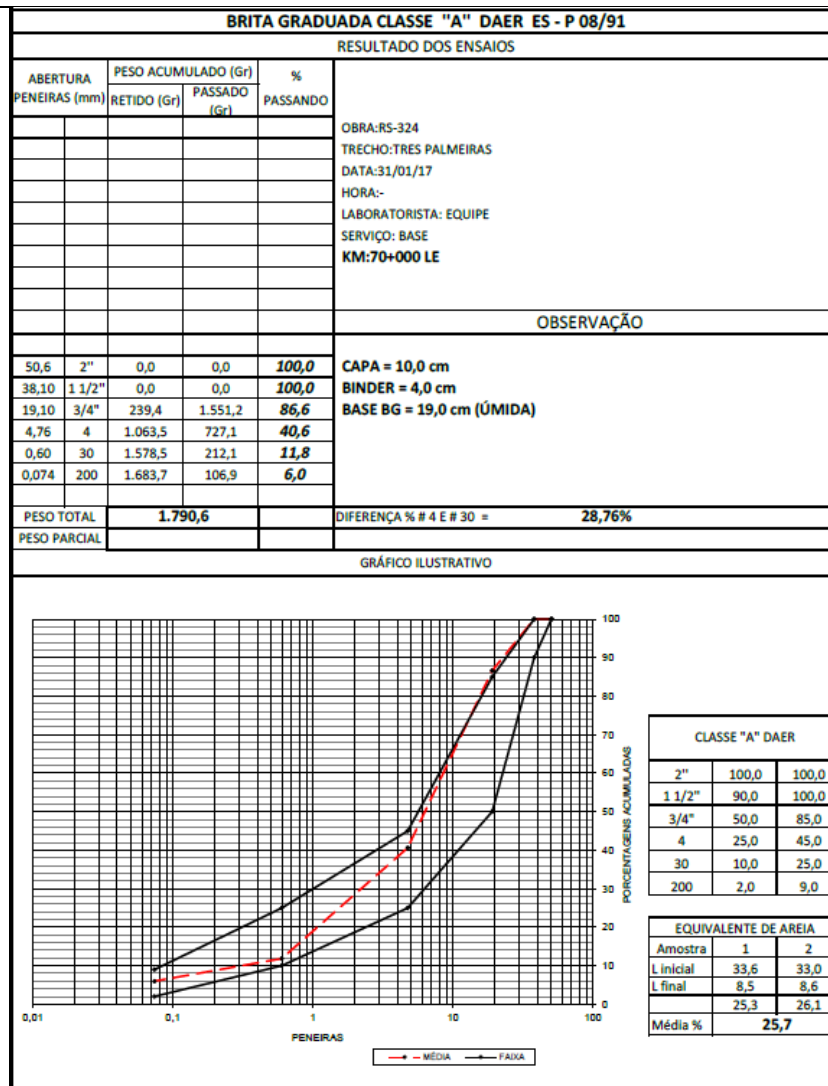
RESULTADO DOS ENSAIOS

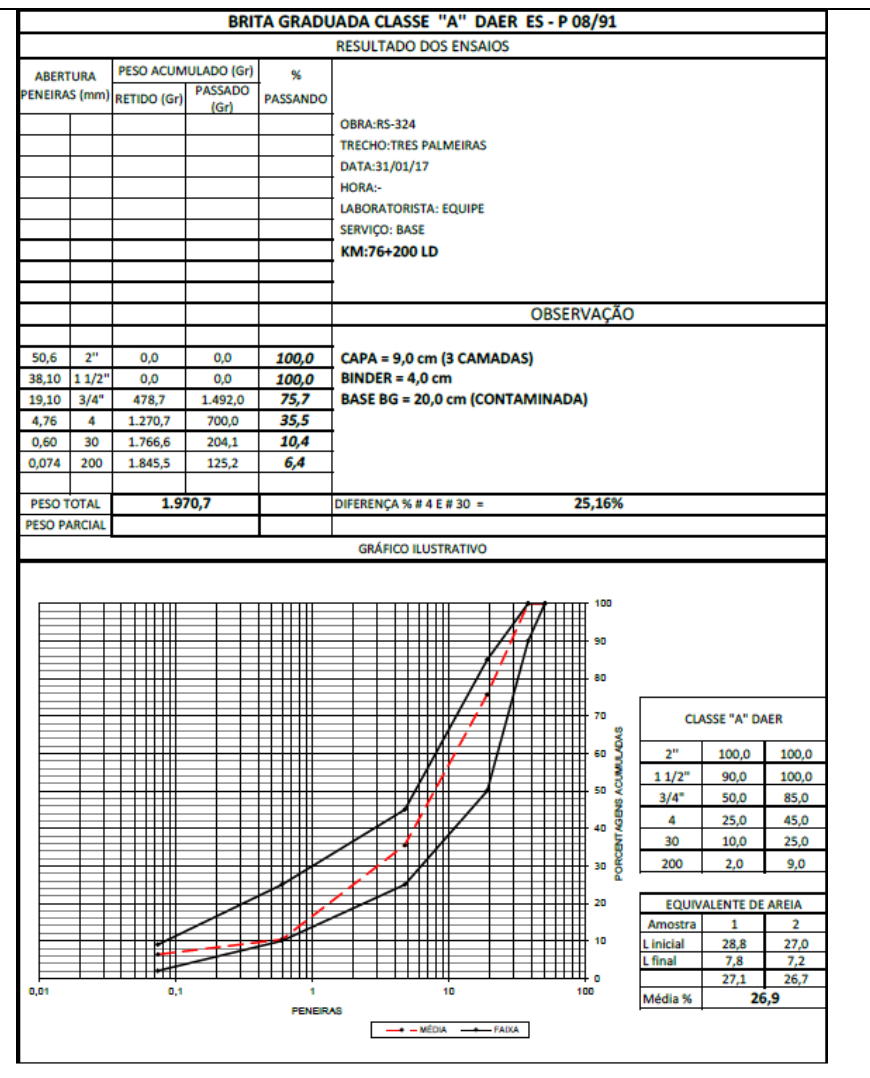
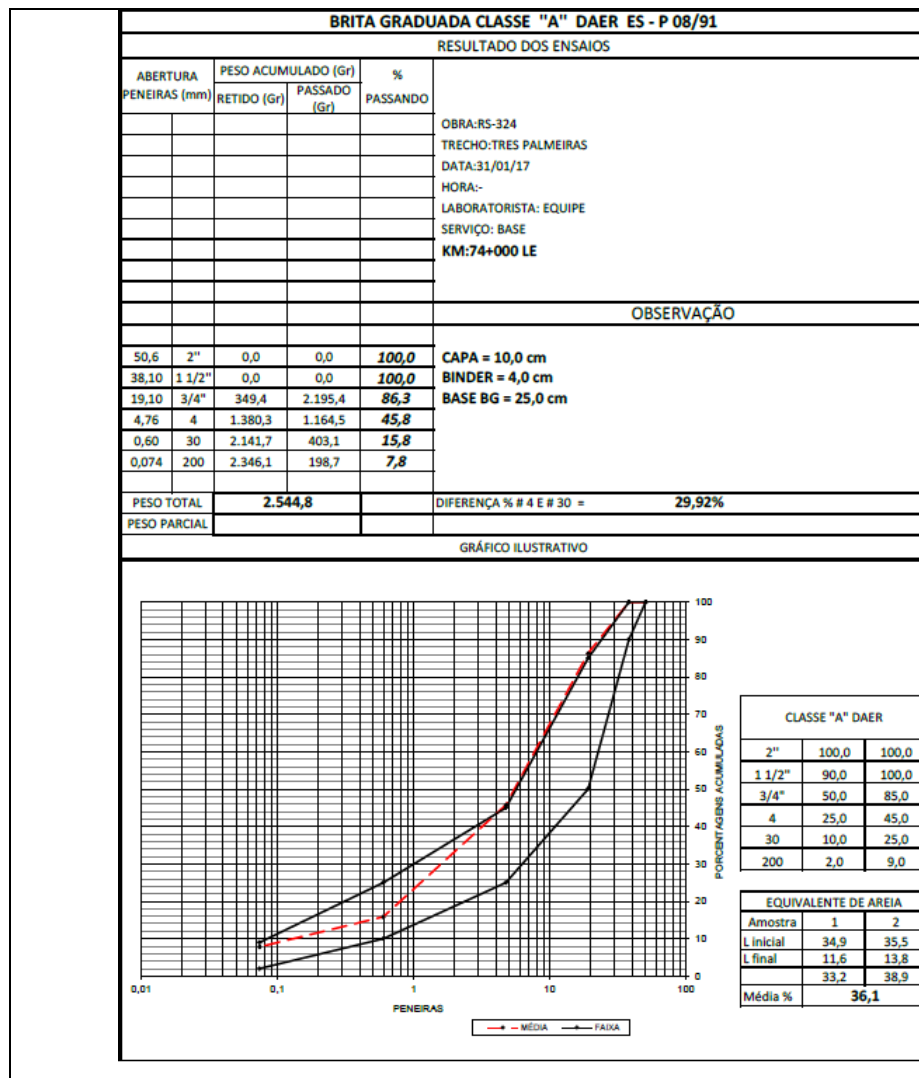
ABERTURA PENEIRAS (mm)	PESO ACUMULADO (Gr)		%
	RETIDO (Gr)	PASSADO (Gr)	
			PASSANDO
OBRA:RS-324			
TRECHO:TRES PALMEIRAS			
DATA:30/01/17			
HORA:-			
LABORATORISTA: EQUIPE			
SERVIÇO: BASE			
KM:64+060 LD			
OBSERVAÇÃO			
NÃO ENSAIADO (SEM CONDIÇÕES)			
50,6	2"	0,0	0,0
38,10	1 1/2"	0,0	0,0
19,10	3/4"	296,1	1.502,5
4,76	4	886,0	912,6
0,60	30	1.552,9	245,7
0,074	200	1.674,3	124,3
PESO TOTAL		1.798,6	
PESO PARCIAL			
		DIFERENÇA % # 4 E # 30 = 37,08%	

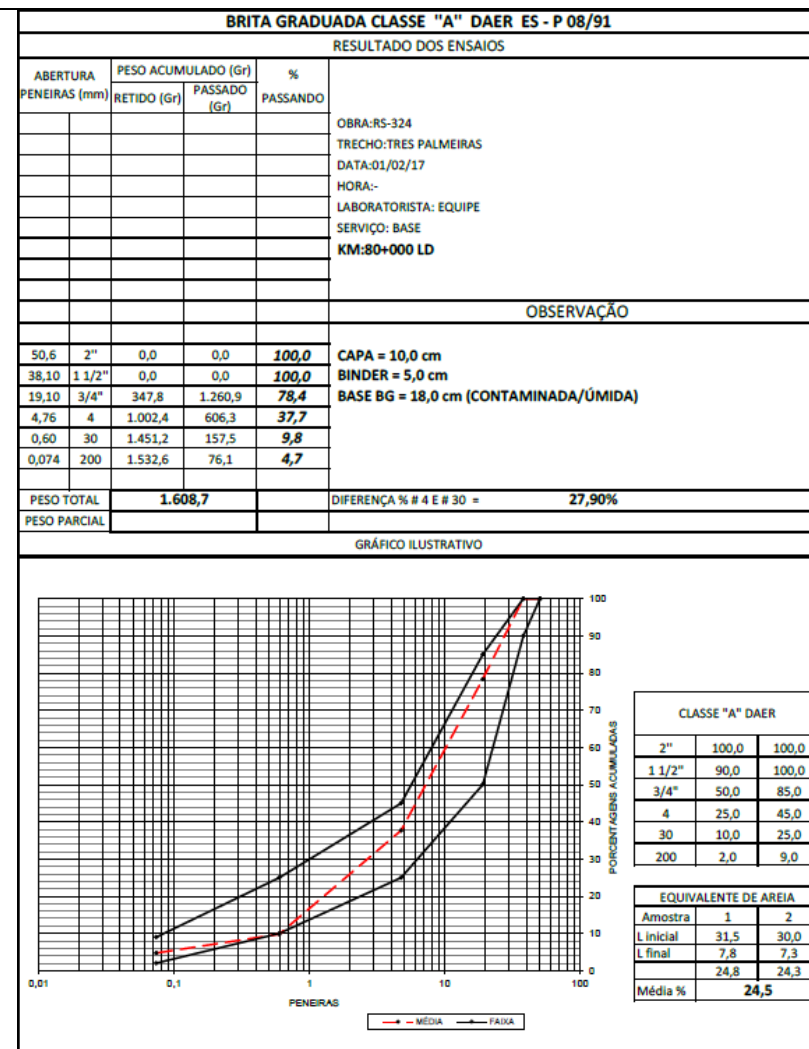
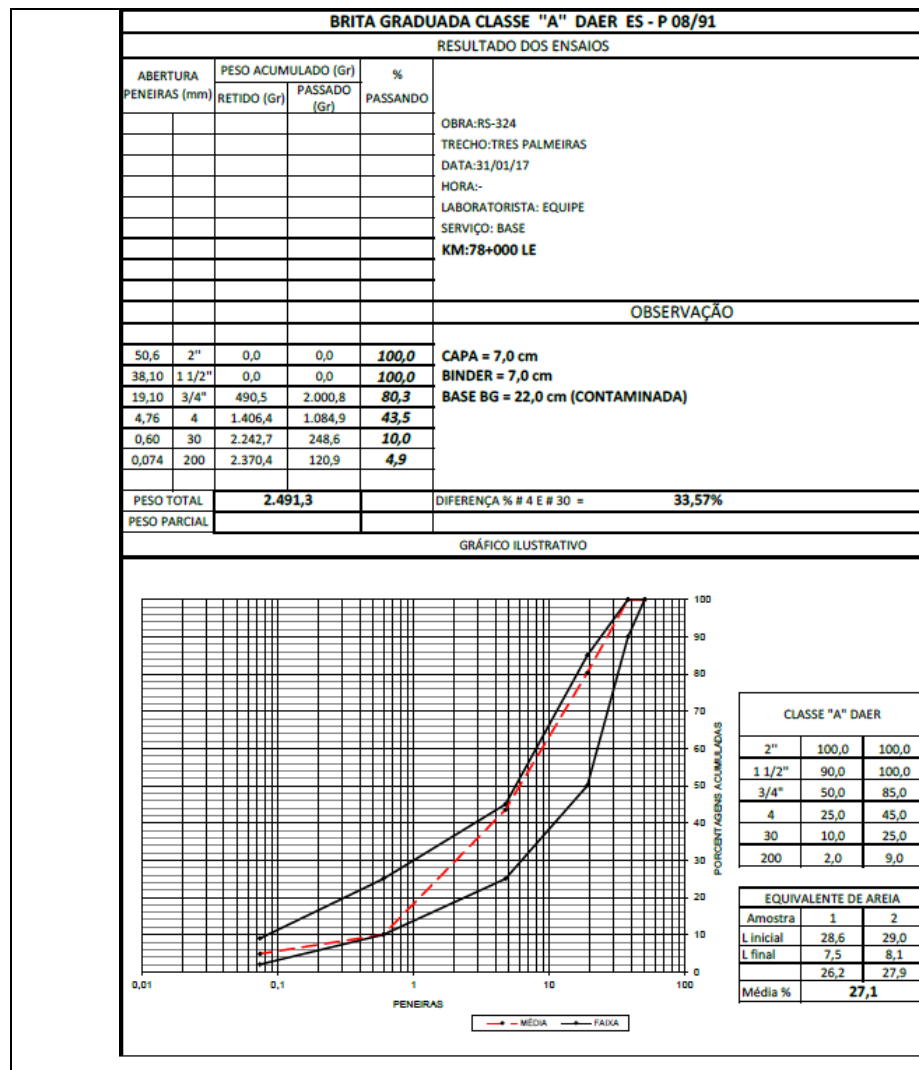
GRÁFICO ILUSTRATIVO

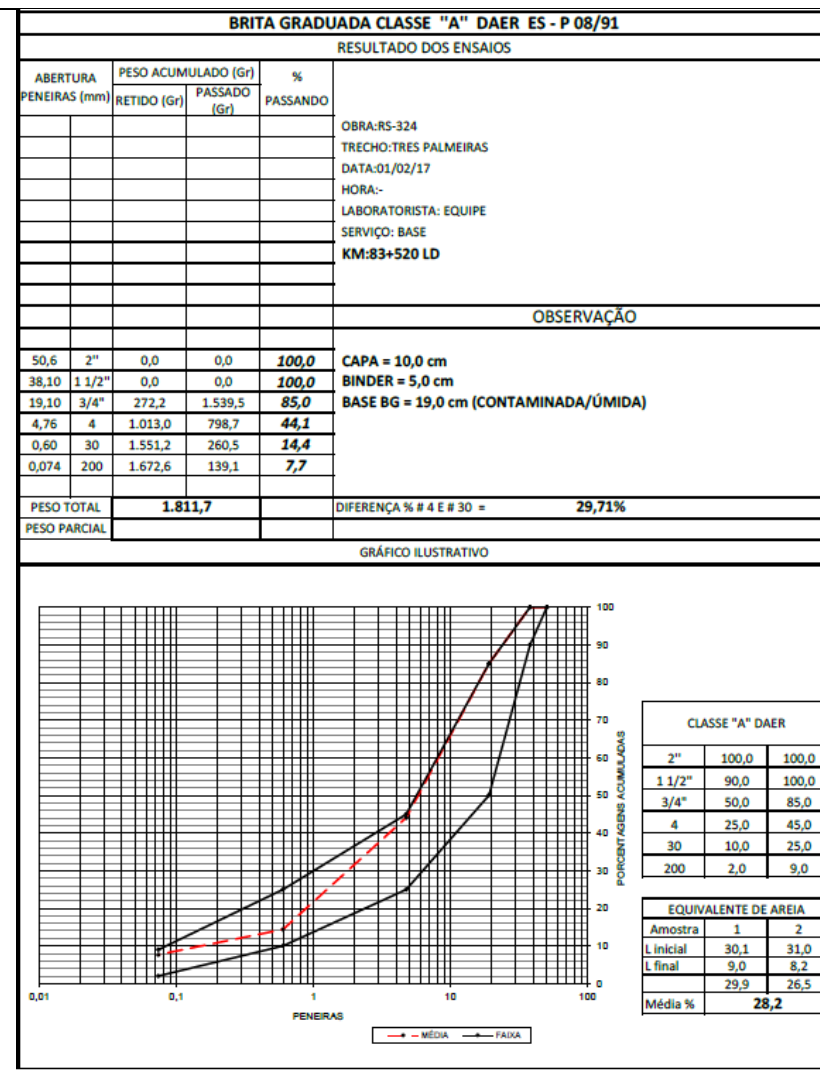
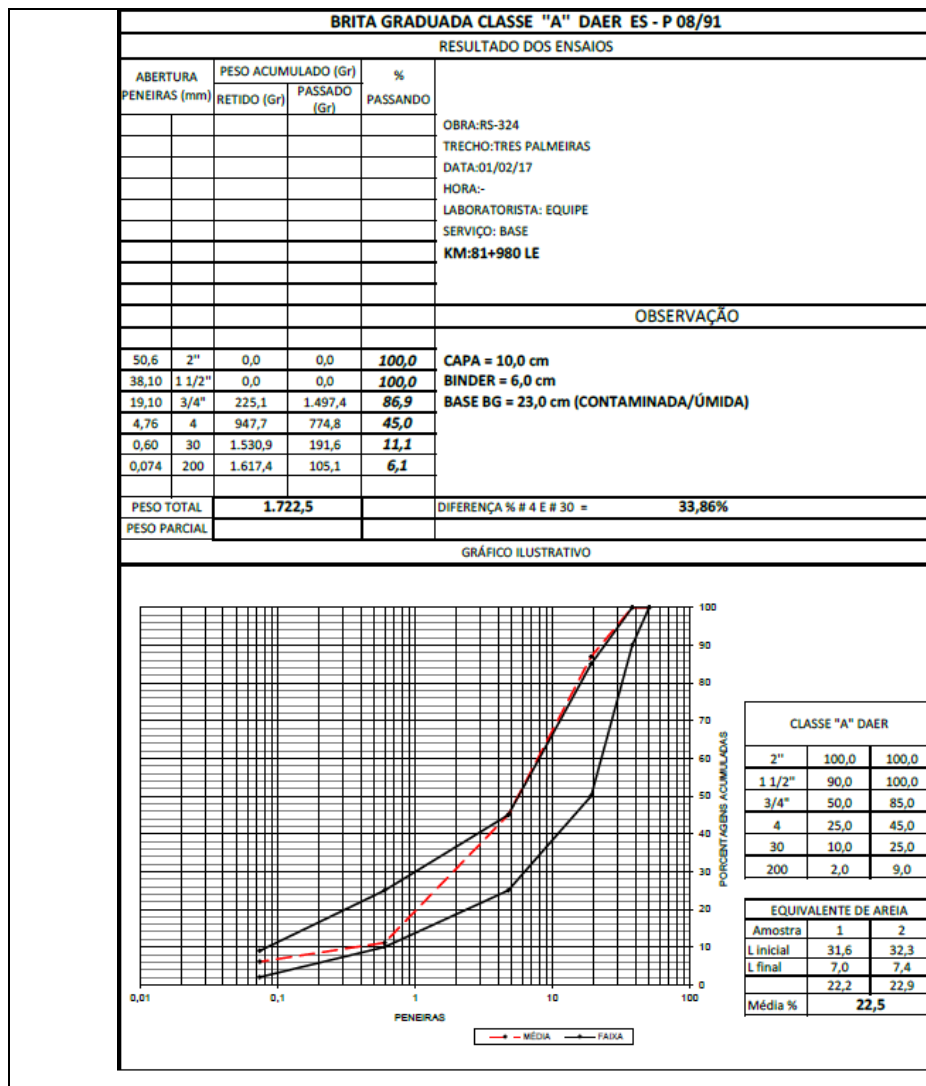












APENDICE A

VALORES OBTIDOS POR RETROANÁLISE

(continua)

Estaca	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)			RMS
	Revest. CBUQ	Base	Subleito	
56 + 000	2163.29	231.54	188.95	2.3074
56 + 200	2832.89	191.07	126.76	1.594
56 + 400	2548.44	206.61	144.77	3.3679
56 + 600	2277.16	223.38	168.47	5.6273
56 + 800	2381.5	152.88	413.8	2.7156
57 + 000	1936.44	182.33	189.61	3.9064
57 + 200	2269.16	63.03	352.47	4.5488
57 + 400	1716.31	144.89	340.82	3.1968
57 + 600	2003.78	84.69	194.08	3.8408
57 + 800	2426.1	102.4	179.71	3.5942
58 + 000	2117.92	95.5	290.36	5.8214
58 + 200	2242.05	80.42	373.32	4.6701
58 + 400	522.86	201.06	104.63	34.7617
58 + 600	2322.07	59.83	314.29	4.2826
58 + 800	1203.67	49.3	138.7	2.5151
59 + 000	2546.06	54.62	222.64	4.6487
59 + 200	2667.4	78.73	411.34	4.9954
59 + 400	2142.37	126.41	508.93	3.6078
59 + 600	1334.28	78.17	254.79	4.7309
59 + 800	1752.61	139.07	199.69	4.1576
60 + 000	2358.43	85.3	258.83	2.5729
60 + 200	1466.05	100.88	334.55	4.5304
60 + 400	1282.62	94.91	154.91	6.0148
60 + 600	3001.41	154.1	153.34	3.1521
60 + 800	2993.5	30.29	269.42	2.68
61 + 000	1379.69	36.19	204.32	5.3557
61 + 200	2634.11	110.09	742.6	1.6544
61 + 400	1471.87	32.68	129.38	1.0499
61 + 600	1793.4	61.97	215.43	1.2177
61 + 800	2165.84	61.56	308.04	4.6721
62 + 000	2911.37	30.31	288.57	1.3639
62 + 200	3109.14	172.83	165.09	2.5309
62 + 400	2255.65	72.1	202.41	3.3124
62 + 600	2160.33	89.47	301.82	1.8764
62 + 800	2699.15	44.8	437.69	2.3871
63 + 000	3507.89	266.89	277.82	2.323

(continua)

Estaca	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)			RMS
	Revest. CBUQ	Base	Subleito	
63 + 200	3400.35	125.14	258.77	1.1364
63 + 400	3937.94	70.49	290.47	1.7847
63 + 600	1960.73	53.37	237.34	3.323
63 + 800	4394.93	192.04	269.23	1.5151
64 + 000	2568.72	59.78	503.58	3.2802
64 + 200	4492.29	215.96	333.91	0.8593
64 + 400	4752.74	95.08	434.71	1.1718
64 + 600	2360.59	77.75	210.6	1.5652
64 + 800	3655.55	175.02	364.61	3.0235
65 + 000	2187.98	48.26	357.33	2.7955
65 + 200	3126.7	82.47	252.68	2.3376
65 + 400	3008.23	254.59	254.47	1.5698
65 + 600	2862.95	35.87	214	3.7096
65 + 800	3583.71	212.76	195.37	1.9458
66 + 000	2696.62	72.41	316.99	1.1312
66 + 200	1942.58	38.99	170.39	5.4728
66 + 400	2639.77	48.84	354.59	4.5131
66 + 600	3308.08	58.72	315.94	5.0294
66 + 800	4346.82	61.1	348.2	4.5847
67 + 000	1880.2	38.96	307.26	6.4629
67 + 200	3581.82	102.65	470.65	4.3875
67 + 400	1910.13	41.16	595.57	2.6806
67 + 600	2895.6	32.18	377.42	3.8178
67 + 800	333.2	81.4	169.93	22.4828
68 + 000	2708.36	69.21	235.98	4.1186
68 + 200	910.61	203.48	100.15	35.5438
68 + 400	3349.42	80.86	206.67	6.2333
68 + 600	2872.82	95.19	253	2.3543
68 + 800	3351.76	136.08	617.59	1.452
69 + 000	2102.45	107.34	272.75	1.4312
69 + 200	2721.43	70.82	304.69	3.3677
69 + 400	2948.4	52.5	393.36	2.6352
69 + 600	5219.74	118.47	469.39	1.5143
69 + 800	4301.71	51.3	403.7	2.1963
70 + 000	2451.85	56.31	232.78	2.6315
70 + 200	2629.91	108.1	366.73	0.6706
70 + 400	528.83	72.5	245.05	15.97891
70 + 600	2695.1	204.43	355.28	0.7005
70 + 800	2775.21	54.93	750.93	3.1479
71 + 000	3031.04	149.29	363.72	2.3176
71 + 200	2647.43	68.46	488.18	3.0213
71 + 400	2794.58	46	534.7	4.3738
71 + 600	3400.3	72.71	972.3	2.0238

(continua)

Estaca	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)			RMS
	Revest. CBUQ	Base	Subleito	
71 + 800	3204.29	119.85	211.57	1.8772
72 + 000	3310.76	138.02	350.41	1.7828
72 + 200	2537.9	105.46	203.6	3.5036
72 + 400	2557.95	117.02	438.72	2.1388
72 + 600	1827.6	35.06	214.76	4.0443
72 + 800	2600.26	92.71	800.77	1.5456
73 + 000	2651.12	122.11	235.36	2.0815
73 + 200	2941.73	164.68	277.88	2.4045
73 + 400	3434.73	242.55	275.42	1.2466
73 + 600	2521.41	67.98	250.24	3.3607
73 + 800	3082.63	117.71	722.61	1.3743
74 + 000	2448.04	82.86	342.79	2.4766
74 + 200	3057.77	93.55	307.02	2.1617
74 + 400	3579.13	89.77	294.35	1.765
74 + 600	2832.76	176.33	352.58	1.1343
74 + 800	3231.29	369.8	268.41	0.7208
75 + 000	3585.81	70.13	257.98	2.3281
75 + 200	4644.24	84.73	739.12	1.1816
75 + 400	2958.86	76.36	216.46	2.9595
75 + 600	2616.52	128.88	393.4	1.7446
75 + 800	2951.39	218.12	625.66	0.5596
76 + 000	3270.45	107.25	289.33	2.041
76 + 200	4027.64	139.62	317.81	1.1591
76 + 400	1895.55	62.12	253.06	2.1023
76 + 600	4424.33	47.46	320.58	2.4606
76 + 800	2897.41	115.81	466.94	1.3302
77 + 000	2206.33	70.58	307.29	1.4965
77 + 200	3029.67	170.13	352.5	0.7904
77 + 400	4681.9	103.42	362.85	1.4566
77 + 600	3062.18	69.9	540.21	3.0333
77 + 800	4538.39	130.21	373.28	1.4006
78 + 000	4858.76	162.21	649.41	1.5735
78 + 200	3166.62	124.84	308.73	0.7733
78 + 400	2840.94	305	169.68	4.2447
78 + 600	1642.2	47.32	390.7	1.4587
78 + 800	2597.89	74.27	450.05	2.1705
79 + 000	4611.35	112	638.05	1.0058
79 + 200	3083.54	54.35	412.31	1.4104
79 + 400	3296.07	236.52	458.97	0.932
79 + 600	1895.4	90.54	340.92	2.4339
79 + 800	3040.69	74.72	276.17	1.5971
80 + 000	1274.25	117.89	345.39	3.3108
80 + 200	4208.23	85.1	299.27	3.9799

(conclusão)

Estaca	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)			RMS
	Revest. CBUQ	Base	Subleito	
80 + 400	5142.92	160.82	504.82	1.8096
80 + 600	2788.29	226.7	535.9	1.5978
80 + 800	3641.13	86	598.91	4.8171
81 + 000	3912.99	71.14	210.53	1.9829
81 + 200	2961.01	108.99	309.17	1.0881
81 + 400	1436.71	56.12	220.68	2.4621
81 + 600	1602.09	84.59	218.5	2.2797
81 + 800	3315.39	250.13	381.14	3.1472
82 + 000	2543.42	319.43	414.06	0.7844
82 + 200	1971.25	188.39	423.32	0.7382
82 + 400	2486.74	105.5	237.48	2.5353
82 + 600	2647.34	65.48	275.04	2.9556
82 + 800	2658.13	108.43	347.88	1.7939
83 + 000	2696.57	212.43	281.85	1.5536
83 + 200	2891.07	262.63	230.64	1.3977
83 + 400	1763.68	88.15	540.87	3.568

APÊNDICE B

B.1 – RESULTADOS DO ELSYM5 PARA A SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO FSP + TSD+ H4

```

Displacements
  XP      YP      UX      UY      UZ
  .00     .00     .109E-02  .000E+00  .225E-01
 17.00   .00     .000E+00  .000E+00  .205E-01
 34.00   .00    -.109E-02  .000E+00  .225E-01

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1      Z = .00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>

```

```

Normal Strains      Shear Strains
  XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
  .00     .00     .421E-04  .306E-04  -.132E-03  .000E+00  .213E-04  .000E+00
 17.00   .00    -.136E-03  -.914E-05  .740E-04  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 34.00   .00     .421E-04  .306E-04  -.132E-03  .000E+00  -.213E-04  .000E+00

Principal -- Strains      Shear Strains
  XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
  .00     .00     .427E-04  .306E-04  -.133E-03  .175E-03  .122E-04  .163E-03
 17.00   .00     .740E-04  -.914E-05  -.136E-03  .210E-03  .832E-04  .127E-03
 34.00   .00     .427E-04  .306E-04  -.133E-03  .175E-03  .122E-04  .163E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1      Z = 3.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

```

Normal Strains      Shear Strains
  XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
  .00     .00     .352E-04  .500E-04  -.250E-03  .000E+00  .162E-03  .000E+00
 17.00   .00     .406E-04  .534E-04  -.272E-03  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 34.00   .00     .352E-04  .500E-04  -.250E-03  .000E+00  -.162E-03  .000E+00

Principal -- Strains      Shear Strains
  XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
  .00     .00     .566E-04  .500E-04  -.271E-03  .328E-03  .654E-05  .321E-03
 17.00   .00     .534E-04  .406E-04  -.272E-03  .325E-03  .128E-04  .312E-03
 34.00   .00     .566E-04  .500E-04  -.271E-03  .328E-03  .654E-05  .321E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 4      Z = 42.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

B.2 – RESULTADOS DO ELSYM5 PARA A SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO FSP + TSD+ H5

```

Displacements
  XP      YP      UX      UY      UZ
  .00     .00     .103E-02  .000E+00  .216E-01
 17.00    .00     .000E+00  .000E+00  .198E-01
 34.00    .00    -.103E-02  .000E+00  .216E-01

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1      Z = .00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>

```

```

Normal Strains      Shear Strains
  XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
  .00     .00     .611E-04  .568E-04  -.149E-03  .000E+00  .229E-04  .000E+00
 17.00    .00    -.128E-03  .141E-04  .533E-04  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 34.00    .00     .611E-04  .568E-04  -.149E-03  .000E+00  -.229E-04  .000E+00

Principal -- Strains      Shear Strains
  XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
  .00     .00     .617E-04  .568E-04  -.150E-03  .211E-03  .484E-05  .206E-03
 17.00    .00     .533E-04  .141E-04  -.128E-03  .182E-03  .392E-04  .143E-03
 34.00    .00     .617E-04  .568E-04  -.150E-03  .211E-03  .484E-05  .206E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1      Z = 4.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

```

Normal Strains      Shear Strains
  XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
  .00     .00     .334E-04  .471E-04  -.236E-03  .000E+00  .151E-03  .000E+00
 17.00    .00     .385E-04  .501E-04  -.257E-03  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 34.00    .00     .334E-04  .471E-04  -.236E-03  .000E+00  -.151E-03  .000E+00

Principal -- Strains      Shear Strains
  XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
  .00     .00     .532E-04  .471E-04  -.256E-03  .309E-03  .610E-05  .303E-03
 17.00    .00     .501E-04  .385E-04  -.257E-03  .307E-03  .116E-04  .295E-03
 34.00    .00     .532E-04  .471E-04  -.256E-03  .309E-03  .610E-05  .303E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 4      Z = 43.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

B.3 – RESULTADOS DO ELSYM5 PARA A SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO FSP + TSD+ H5

```

Displacements
XP      YP      UX      UY      UZ
.00     .00     .899E-03 .000E+00 .182E-01
17.00   .00     .000E+00 .000E+00 .172E-01
34.00   .00     -.899E-03 .000E+00 .182E-01

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1      Z = .00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

```

Normal Strains      Shear Strains
XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
.00     .00     .716E-04 .850E-04 -.140E-03 .000E+00 .254E-04 .000E+00
17.00   .00     -.710E-04 .566E-04 -.912E-05 .000E+00 .000E+00 .000E+00
34.00   .00     .716E-04 .850E-04 -.140E-03 .000E+00 -.254E-04 .000E+00

Principal -- Strains      Shear Strains
XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
.00     .00     .850E-04 .724E-04 -.141E-03 .226E-03 .126E-04 .213E-03
17.00   .00     .566E-04 -.912E-05 -.710E-04 .128E-03 .657E-04 .619E-04
34.00   .00     .850E-04 .724E-04 -.141E-03 .226E-03 .126E-04 .213E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1      Z = 8.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>

```

```

Normal Strains      Shear Strains
XP      YP      EXX      EYY      EZZ      EXY      EXZ      EYZ
.00     .00     .275E-04 .372E-04 -.192E-03 .000E+00 .116E-03 .000E+00
17.00   .00     .316E-04 .394E-04 -.208E-03 .000E+00 .000E+00 .000E+00
34.00   .00     .275E-04 .372E-04 -.192E-03 .000E+00 -.116E-03 .000E+00

Principal -- Strains      Shear Strains
XP      YP      PE 1      PE 2      PE 3      PSE1      PSE2      PSE3
.00     .00     .420E-04 .372E-04 -.206E-03 .248E-03 .479E-05 .243E-03
17.00   .00     .394E-04 .316E-04 -.208E-03 .247E-03 .785E-05 .239E-03
34.00   .00     .420E-04 .372E-04 -.206E-03 .248E-03 .479E-05 .243E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 4      Z = 47.99

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==> _

```

APÊNDICE C

COMPOSIÇÕES DE CUSTOS DE SERVIÇOS

Custo Unitário de Referência			Maio/2018		Produção da equipe		841.00	m²	
4011209	Regularização do subleito						Valores em reais (R\$)		
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário			Custo	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo		Horário Total	
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188	1.00000	0.76	0.24	R 173.3 \$ 6	R 46. \$ 65	R \$	142.95	
E9518	Grade de 24 discos rebocável	1.00000	0.52	0.48	R 2.33 \$	R 1. \$ 62	R \$	1.99	
E9524	Motoniveladora - 93 kW	1.00000	0.55	0.45	R 175.9 \$ 2	R 76. \$ 20	R \$	131.04	
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1.00000	0.72	0.28	R 136.5 \$ 3	R 61. \$ 39	R \$	115.49	
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 t - 82 kW	1.00000	1.00	0.00	R 118.0 \$ 9	R 52. \$ 01	R \$	118.09	
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1.00000	0.52	0.48	R 78.77 \$	R 29. \$ 49	R \$	55.12	
Custo horário total de equipamentos							R\$	564.67	
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total			
P9824	Servente	1.00000	h		R 15.49 \$		R \$	15.49	
Custo horário total de mão de obra							R \$	15.49	
Custo horário total de execução								580.1647	

(continua)

(conclusão)

		Custo unitário de execução				R \$	0.69
					Custo do FIC	R \$	0.03
					Custo do FIT	R \$	0.03
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
		Custo unitário total de material					-
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
		Custo total de atividades auxiliares					-
					Subtotal	R \$	0.75
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
		Custo unitário total de tempo fixo					-
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário
				LN	R P	P	
		Custo unitário total de transporte					
				Custo unitário direto total		R \$	0.75

(continua)

Custo Unitário de Referência			Maio/2018		Produção da equipe	135.77	m³
4011279	Base ou sub-base de macadame seco com brita comercial					Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total

(continua)

E9514	Distribuidor de agregados autopropelido - 130 kW	1.00000	1.00	0.00	R 198.84	R 86.61	R 198.84
E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t	1.00000	0.63	0.37	R 133.64	R 56.14	R 104.97
Custo horário total de equipamentos							303.8041
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	2.00000	h		R 15.49		R 30.98
Custo horário total de mão de obra							R 30.98
Custo horário total de execução							R 334.79
Custo unitário de execução							R 2.47
Custo do FIC							R 0.03
Custo do FIT							R 0.11
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0808	Brita 4 (rachinha)	1.10000	m³		R 57.02		62.7190
M1103	Pedrisco	0.15000	m³		R 60.97		9.1461
M1135	Pó de pedra	0.15000	m³		R 56.71		8.5068
Custo unitário total de material							80.3720
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
Custo total de atividades auxiliares							-
Subtotal							R 82.99
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
M0808	Brita 4 (rachinha) - Caminhão basculante 10 m³	5914651	1.65000	t	R 1.43	R\$	2.36

(conclusão)

M1103	Pedrisco - Caminhão	5914651	0.22500	t	R\$ 1.43	R\$ 0.32		
M1135	Pó de pedra - Caminhão basculante 10 m³	5914651	0.22500	t	R\$ 1.43	R\$ 0.32		
Custo unitário total de tempo fixo						R\$ 3.00		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário	
				LN	R P	P		
M0808	Brita 4 (rachinha) - Caminhão	1.65000	tkm	0.99	0.56	0.45	47.64	R\$ 35.37
M1103	Pedrisco - Caminhão	0.22500	tkm	0.99	0.56	0.45	47.64	R\$ 4.82
M1135	Pó de pedra - Caminhão basculante 10 m³	0.22500	tkm	0.99	0.56	0.45	47.64	R\$ 4.82
Custo unitário total de transporte						R\$ 45.02		
Custo unitário direto total						R\$ 131.01		

(continua)

Custo Unitário de Referência			Mai/2018		Produção da equipe		113.18	m³
4011276	Base ou sub-base de brita graduada com brita comercial						Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo		
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188	1.00000	0.34	0.66	R\$ 173.36	R\$ 46.65	R\$ 89.73	
E9514	Distribuidor de agregados autopropelido - 130 kW	1.00000	0.80	0.20	R\$ 198.84	R\$ 86.61	R\$ 176.39	
E9524	Motoniveladora - 93 kW	1.00000	0.52	0.48	R\$ 175.92	R\$ 76.20	R\$ 128.05	
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1.00000	0.65	0.35	R\$ 136.53	R\$ 61.39	R\$ 110.23	

(continua)

E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t	1.00000	0.52	0.48	R 133.6 \$ 4	R 56. \$ 14	R\$ 96.44
		Custo horário total de equipamentos					R\$ 600.85
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	1.00000	h		R 15.49 \$		R\$ 15.49
		Custo horário total de mão de obra					R\$ 15.49
		Custo horário total de execução					R\$ 616.34
		Custo unitário de execução					R\$ 5.45
						Custo do FIC	R\$ 0.08
						Custo do FIT	R\$ 0.25
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
		Custo unitário total de material					-
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
64160 40	Usinagem de brita graduada	1.00000	m³		R 97. \$ 37		R\$ 97.37
		Custo total de atividades auxiliares					R\$ 97.37
						Subtotal	R\$ 103.14
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
64160 40	Usinagem de brita graduada	5914652	2.10000	t		R 1.91 \$	R\$ 4.01
		Custo unitário total de tempo fixo					R\$ 4.01
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário
				LN	R P	P	

64160 40	Usinagem de brita graduada	2.10000	tkm	0.99	0. 56	0. 45	47.64	R\$ 45.02	(conclusão)
		Custo unitário total de transporte					R\$	45.02	
		Custo unitário direto total						R\$	152.18

(continua)

Custo Unitário de Referência		Maio/2018		Produção da equipe		1125.00	m ²	
4011352	Imprimação com emulsão asfáltica							Valores em reais (R\$)
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo		
E9509	Caminhão tanque distribuidor de asfalto com capacidade de 6.000 l - 7 kW/ 136 kW	1.00000	1.00	0.00	141.5606	43.1704	141.5606	
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de	1.00000	1.00	0.00	18.9468	12.9128	18.9468	
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1.00000	0.35	0.65	78.7673	29.4949	46.7402	
E9544	Vassoura mecânica rebocável	1.00000	0.35	0.65	5.4370	3.4952	4.1748	
		Custo horário total de equipamentos					R\$	211.42
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total		
P9824	Servente	2.00000	h		15.4916		R\$ 30.98	
		Custo horário total de mão de obra					R\$	30.98
		Custo horário total de execução					R\$	242.41
		Custo unitário de execução					R\$	0.22

(conclusão)

						Custo do FIC	R \$	0.01
						Custo do FIT	R \$	0.01
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário		
M2092	Emulsão asfáltica para	0.00130	t	R\$	1,671.31	R \$	2.17	
Custo unitário total de material						2.1727		
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário		
Custo total de atividades auxiliares						-		
						Subtotal	R \$	2.40
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
Custo unitário total de tempo fixo						-		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DM			Custo Unitário	
				LN	R	P		
Custo unitário total de transporte								
Custo unitário direto total						R \$	2.40	

(continua)

Custo Unitário de Referência		Maio/2018	Produção da equipe	30. m³
				39
4011480	Fresagem descontínua de revestimento betuminoso			Valores em reais (R\$)

(continua)

A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo		
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total		
E9605	Caminhão tanque com	1.00000	0.28	0.72	R 134.10 \$ 0	R 40.96 \$	R 67.04 \$		
E9678	Fresadora a frio - 410 kW	1.00000	1.00	0.00	R 964.9 \$	R 370.1 \$	R 964.92 \$		
E9697	Mini-carregadeira de pneus com vassoura de 1,8 m - 42	1.00000	0.80	0.20	R 77.45 \$	R 41.43 \$	R 70.25 \$		
Custo horário total de equipamentos							R 1,102.21 \$		
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total			
P9824	Servente	8.00000	h		R 15.49 \$		R 123.93 \$		
Custo horário total de mão de obra							R 123.93 \$		
Custo horário total de execução							R 1,226.14 \$		
Custo unitário de execução							R 40.35 \$		
							Custo do FIC	R 1.13 \$	
							Custo do FIT	R 1.87 \$	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário			
M1995	Apoio do porta bit para	0.00033	un		R 991.38 \$		R 0.33 \$		
M1974	Bit para fresadora de 410 kW	0.13000	un		R 25.94 \$		R 3.37 \$		
M1975	Porta bits para fresadora de	0.00130	un		R 412.91 \$		R 0.54 \$		
Custo unitário total de material							R 4.24 \$		

(conclusão)

D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário			Custo Unitário	
		Custo total de atividades auxiliares					-	
							Subtotal	R \$ 47.59
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
M2093	Material fresado - Caminhão basculante 10 m ³	5915407	2.40000	t	R \$ 1.71	R \$ 4.10		
		Custo unitário total de tempo fixo					R \$ 4.10	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DM T			Custo Unitário	
				LN	R P	P		
M2093	Material fresado - Caminhão basculante 10 m ³	2.40000	tkm	0.99	0.56	0.45	5	R \$ 5.40
		Custo unitário total de transporte					R \$ 5.40	
		Custo unitário direto total					R \$ 57.09	

(continua)

Custo Unitário de Referência		Maio/2018		Produção da equipe		61.51	m ³
4011479	Fresagem contínua de revestimento betuminoso					Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total
E9605	Caminhão tanque com	1.00000	0.57	0.43	R \$ 134.10	R \$ 40.96	R \$ 94.05

(continua)

E9678	Fresadora a frio - 410 kW	1.00000	1.00	0.00	R 964.9 \$ 2	R 370.17 \$	R 964.92 \$
E9697	Mini-carregadeira de pneus com vassoura de 1,8 m - 42	2.00000	0.81	0.19	R 77.45 \$	R 41.43 \$	R 141.22 \$
		Custo horário total de equipamentos					R 1,200.1 \$ 9
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8.00000	h		R 15.49 \$		R 123.93 \$
		Custo horário total de mão de obra					R 123.93 \$
		Custo horário total de execução					R 1,324.1 \$ 2
		Custo unitário de execução					R 21.53 \$
						Custo do FIC	R 0.61 \$
						Custo do FIT	R 1.00 \$
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M1995	Apoio do porta bit para fresadora de 410 kW	0.00065	un		R 991.3 \$ 8		R\$ 0.64
M1974	Bit para fresadora de 410 kW	0.26000	un		R 25.94 \$		R\$ 6.74
M1975	Porta bits para fresadora de	0.00260	un		R 412.9 \$ 1		R\$ 1.07
		Custo unitário total de material					R\$ 8.46
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
		Custo total de atividades auxiliares					-

(conclusão)

						Subtotal		R\$ 31.59
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
M2093	Material fresado - Caminhão basculante 10 m³	5915407	2.40000	t	R \$	1.71	R\$	4.10
Custo unitário total de tempo fixo							R\$	4.10
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário	
				LN	R P	P		
M2093	Material fresado - Caminhão	2.40000	tkm	0.99	0.56	0.45	5.00	R\$ 5.40
Custo unitário total de transporte							R\$	5.40
Custo unitário direto total								41.10

(continua)

Custo Unitário de Referência			Maio/2018		Produção da equipe		569.15	m²
4011370	Tratamento superficial duplo com emulsão - brita comercial						Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total	
E9509	Caminhão tanque distribuidor	1.00000	1.00	0.00	R \$ 141.56	R \$ 43.17	R\$ 141.56	
E9583	Distribuidor de agregados rebocável com capacidade de	1.00000	0.68	0.32	R \$ 6.56	R \$ 4.22	R\$ 5.81	
E9762	Rolo compactador de pneus	1.00000	0.49	0.51	R \$ 136.53	R \$ 61.39	R\$ 98.21	

(continua)

E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de	2.00000	1.00	0.00	R \$ 18.95	R \$ 12.91	R\$ 37.89
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1.00000	0.35	0.65	R \$ 78.77	R \$ 29.49	R\$ 46.74
E9544	Vassoura mecânica rebocável	1.00000	0.35	0.65	R \$ 5.44	R \$ 3.50	R\$ 4.17
Custo horário total de equipamentos							R\$ 334.38
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8.00000	h		R \$ 15.49		R\$ 123.93
Custo horário total de mão de obra							R\$ 123.93
Custo horário total de execução							R \$ 458.32
Custo unitário de execução							R \$ 0.81
Custo do FIC							R \$ 0.01
Custo do FIT							R \$ 0.04
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0005	Brita 0	0.00733	m³		R \$ 62.99		R \$ 0.46
M0191	Brita 1	0.01500	m³		R \$ 61.43		R \$ 0.92
M2097	Emulsão asfáltica RR-2C	0.00250	t		R\$ 1,519.80		R \$ 3.80
Custo unitário total de material							R \$ 5.18
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
Custo total de atividades auxiliares							-

(conclusão)

						Subtotal		R\$ 6.03	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário		
M0005	Brita 0 - Caminhão basculante	5914651	0.01100	t	R 1. \$ 43	R 0.02 \$			
M0191	Brita 1 - Caminhão basculante	5914651	0.02250	t	R 1. \$ 43	R 0.03 \$			
		Custo unitário total de tempo fixo					R \$ 0.05		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário		
				LN	R P	P			
M0005	Brita 0 - Caminhão basculante	0.01100	tkm	0.99	0. 56	0. 45	47. 64	R\$ 0.24	
M0191	Brita 1 - Caminhão basculante	0.02250	tkm	0.99	0. 56	0. 45	47. 64	R\$ 0.48	
		Custo unitário total de transporte					R \$ 0.72		
				Custo unitário direto total				R\$ 6.80	

(continua)

Custo Unitário de Referência			Mai/2018		Produção da equipe		569. 15	m²
4011376	Tratamento superficial duplo com emulsão com polímero - brita comercial						Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário			Custo
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo		Horário Total
E9509	Caminhão tanque distribuidor	1.00000	1.00	0.00	R 141.5 \$ 6	R 43. \$ 17	R 141.56 \$	

(continua)

E9583	Distribuidor de agregados rebocável com capacidade de	1.00000	0.68	0.32	R 6.56 \$	R 4. \$ 22	R 5.81 \$
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1.00000	0.49	0.51	R 136.5 \$ 3	R 61. \$ 39	R 98.21 \$
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de	2.00000	1.00	0.00	R 18.95 \$	R 12. \$ 91	R 37.89 \$
E9577	Traçadora agrícola - 7 kW	1.00000	0.35	0.65	R 78.77 \$	R\$ 29.49	R 46.74 \$
E9544	Vassoura mecânica rebocável	1.00000	0.35	0.65	R 5.44 \$	R\$ 3.50	R 4.17 \$
Custo horário total de equipamentos							R \$ 334.38
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8.00000	h		R 15.49 \$		R 123.93 \$
Custo horário total de mão de obra							R \$ 123.93
Custo horário total de execução							R \$ 458.32
Custo unitário de execução							R \$ 0.81
Custo do FIC							R \$ 0.01
Custo do FIT							R \$ 0.04
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0005	Brita 0	0.00733	m ³		R 62.99 \$		R 0.46 \$
M0191	Brita 1	0.01500	m ³		R 61.43 \$		R 0.92 \$
M2097	Emulsão asfáltica RR-2C	0.00250	t		R\$ 1,950.33		R 4.88 \$

		Custo unitário total de material			R \$	6.26		
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário			
		Custo total de atividades auxiliares			R \$	-		
		Subtotal			R \$	7.11		
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário		
M0005	Brita 0 - Caminhão basculante	5914651	0.01100	t	R \$ 1.43	R \$	0.02	
M0191	Brita 1 - Caminhão basculante	5914651	0.02250	t	R \$ 1.43	R \$	0.03	
		Custo unitário total de tempo fixo			R \$	0.05		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário	
				LN	R P	P		
M0005	Brita 0 - Caminhão basculante	0.01100	tk m	0.99	0.56	0.45	47.64	R \$ 0.24
M0191	Brita 1 - Caminhão basculante	0.02250	tk m	0.99	0.56	0.45	47.64	R \$ 0.48
		Custo unitário total de transporte			R \$	0.72		
		Custo unitário direto total			R \$	7.87		

(continua)

Custo Unitário de Referência		Maio/2018	Produção da equipe	1500.00	m²
4011353	Pintura de ligação			Valores em reais (R\$)	

(continua)

A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total	
E9509	Caminhão tanque distribuidor de asfalto com capacidade de 6.000 l - 7 kW/ 136 kW	1.00000	1.00	0.00	R 141.56 \$ 6	R 43.17 \$ 17	R 141.56 \$	
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de	2.00000	1.00	0.00	R 18.95 \$	R 12.91 \$	R 37.89 \$	
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1.00000	0.47	0.53	R 78.77 \$	R 29.49 \$	R 52.65 \$	
E9544	Vassoura mecânica rebocável	1.00000	0.47	0.53	R 5.44 \$	R 3.50 \$	R 4.41 \$	
Custo horário total de equipamentos							R 236.51 \$	
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total		
P9824	Servente	2.00000	h		R 15.49 \$		R 30.98 \$	
Custo horário total de mão de obra							R 30.98 \$	
Custo horário total de execução							R 267.50 \$	
Custo unitário de execução							R 0.18 \$	
Custo do FIC							R 0.01 \$	
Custo do FIT							R 0.01 \$	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário		
M1946	Emulsão asfáltica RR-1C	0.00045	t		R\$ 1,445.03		R 0.65 \$	
Custo unitário total de material							R 0.65 \$	

(conclusão)

D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário			Custo Unitário	
		Custo total de atividades auxiliares					-	
							Subtotal	R\$ 0.84
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
		Custo unitário total de tempo fixo					-	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário	
				LN	R P	P		
		Custo unitário total de transporte						
		Custo unitário direto total						R\$ 0.84

(continua)

Custo Unitário de Referência		Maio/2018	Produção da equipe		83.00	t	
4011463	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais					Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1.00000	0.59	0.41	R 136.5 \$ 3	R 61. \$ 39	R 105.72 \$
E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t	1.00000	0.51	0.49	R 133.6 \$ 4	R 56. \$ 14	R 95.67 \$

(continua)

E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1.00000	0.89	0.11	R 196.2 \$ 8	R 93. \$ 02	R 184.92 \$
		Custo horário total de equipamentos					386.306 2
B - MÃO DE OBRA		Quantida de	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8.00000	h		R 15.49 \$		R 123.93 \$
		Custo horário total de mão de obra					R 123.93 \$
		Custo horário total de execução					R 510.24 \$
		Custo unitário de execução					R 6.15 \$
						Custo do FIC	R 0.04 \$
						Custo do FIT	R 0. \$ 28
C - MATERIAL		Quantida de	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
		Custo unitário total de material					-
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantida de	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
64160 78	Usinagem de concreto asfáltico - faixa C - areia e brita	1.02000	t		R 92.47 \$		R 94.32 \$
		Custo total de atividades auxiliares					R 94.32 \$
						Subto tal	R\$ 100.79
E - TEMPO FIXO		Código	Quantida de	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
64160 78	Usinagem de concreto asfáltico	5914649	1.02000	t		R 7. \$ 10	R 7.24 \$

(conclusão)

		Custo unitário total de tempo fixo					R \$	7.24
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário	
				LN	R P	P		
6416078	Usinagem de concreto asfáltico	1.02000	tkm	0.99	0.56	0.45	63.9	R\$ 29.33
		Custo unitário total de transporte					R \$	29.33
		Custo unitário direto total						R\$ 137.37

(continua)

Custo Unitário de Referência		Maio/2018	Produção da equipe		92.35	m³	
4011486	Reciclagem com incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de pó de pedra (31%) e cimento (2,5%)					Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total
E9027	Caminhão distribuidor de cimento com capacidade de 17	1.00000	0.33	0.67	R 201.88	R 61.35	R \$ 107.72
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188	2.00000	0.26	0.74	R 173.36	R 46.65	R\$ 159.19
E9524	Motoniveladora - 93 kW	1.00000	0.53	0.47	R 175.92	R 76.20	R\$ 129.05

(continua)

E9012	Recicladora a frio - 403 kW	1.00000	1.00	0.00	R 762.39	R 275.49	R\$ 762.39
-------	-----------------------------	---------	------	------	----------	----------	------------

(continua)

E9762	Rolo compactador de pneus	1.00000	0.80	0.20	R 136.5 \$ 3	R 61.39 \$	R\$ 121.50
E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t	1.00000	0.64	0.36	R 133.6 \$ 4	R 56.14 \$	R\$ 105.74
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 t - 82 kW	1.00000	0.82	0.18	R 118.0 \$ 9	R 52.01 \$	R\$ 106.19
		Custo horário total de equipamentos					R\$ 1,491.7 8
B - MÃO DE OBRA		Quantida de	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	6.00000	h		R 15.49 \$		R\$ 92.95
		Custo horário total de mão de obra					R\$ 92.95
		Custo horário total de execução					R\$ 1,584.7 3
		Custo unitário de execução					R\$ 17.16
						Custo do FIC	R\$ -
						Custo do FIT	R \$ -
C - MATERIAL		Quantida de	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M2147	Bits para recicladora	0.10000	un		R 31.69 \$		R\$ 3.17
M2149	Blocos para recicladora	0.00450	un		R\$ 1,890.66		R\$ 8.51
M0191	Pó de Pedra	0.42400	m³		R 56.71 \$		R\$ 24.05
M0424	Cimento Portland CP II - 32	51.58000	kg		R 0.54 \$		R\$ 27.87
M2148	Porta bits para recicladora	0.01600	un		R 260.7		R\$ 4.17

						\$	8			
(conclusão)										
		Custo unitário total de material				R\$	67.77			
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário				
		Custo total de atividades auxiliares					-			
						Subtotal	R	84.93		
						\$				
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário			
M0191	Pó de Pedra - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0.37500	t	R	0.99	R\$	0.37		
M0424	Cimento Portland CP II - 32 -	5914655	0.08800	t	R	22.98	R\$	2.02		
					\$					
		Custo unitário total de tempo fixo					R\$	2.39		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	D M T			Custo Unitário			
				LN	R P	P				
M0191	Pó de Pedra - Caminhão basculante 10 m³	0.37500	tkm	0.99	0.56	0.45	68.35	R\$	11.53	
M0424	Cimento Portland CP II - 32 - Caminhão carroceria 15 t	0.08800	tkm	0.99	0.56	0.45	101.82	R\$	4.03	
		Custo unitário total de transporte					R\$	15.57		
		Custo unitário direto total						R\$	102.89	

Remoção do Pavimento Existente			
Código	Descrição do Serviço	Unidade	Custo Unitário
4915667	Remoção mecanizada de revestimento betuminoso	m ³	R\$ 10.62
4915669	Remoção mecanizada de camada granular do pavimento m ³	m ³	R\$ 9.41