



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉ SANTOS NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E ECONÔMICA DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DIMENSIONADOS PELOS
MÉTODOS DNIT E MEDINA**

**BALSAS-MA
2023**

André Santos Nascimento

Avaliação Estrutural e Econômica de pavimentos asfálticos pelos métodos DNIT e MeDiNa

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Daniel Beserra Costa

Balsas-MA
2023

Avaliação estrutural e econômica de pavimentos asfálticos dimensionados pelos métodos
DNIT e MeDiNa

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 07 de dezembro de 2023

Prof. Dr. Daniel Beserra Costa – Orientador

Profa. Dra. Laiana Ferreira da Costa – Examinadora externa

Profa. Dra. Carla Caroline Alves Carvalho – Examinadora interna

Balsas-MA

2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Nascimento, André Santos.

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E ECONÔMICA DE PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS DIMENSIONADOS PELOS MÉTODOS DNIT E MEDINA /
André Santos Nascimento. - 2023.
95 f.

Orientador(a): Daniel Beserra Costa.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2023.

1. Custo monetário de pavimentação. 2. MeDiNa. 3.
Método PCI. 4. Misturas asfálticas. I. Costa, Daniel
Beserra. II. Título.

“Se você quer construir um navio, não chame as pessoas para juntar madeira ou atribua-lhes tarefas e trabalho, mas sim ensine-os a desejar a infinita imensidão do oceano.”

(Antoine de Saint-Exupéry)

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer aos meus pais, Antônio Carlos Rodrigues Nascimento e Francisca Lopes dos Santos, por todo apoio, incentivo e amor que me deram. Os seus ensinamentos me fizeram sonhar alto e seguir em busca dos meus objetivos. À minha família, também está o agradecimento mais que especial para minha irmã, Glaucia Santos Nascimento, que me indicou e me encaminhou para este curso, me deu forças para seguir e concluí-lo e não mediu esforços para me apoiar e auxiliar durante esta jornada.

Agradeço a todos os amigos e parceiros que fiz ao longo destes anos na universidade, que me forneceram experiências, histórias e ensinamentos inesquecíveis. Tenho certeza de que estas amizades permanecerão por daqui em diante e desejo que cada um trilhe um caminho de muito sucesso.

Agradeço ao meu orientador, o Professor Dr. Daniel Beserra Costa, por todo carinho e paciência para comigo de modo a desenvolver este trabalho, que desde o início, ainda na fase de somente ideias, me deu apoio e incentivo a realizar este estudo.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA/Campus Balsas), pelo apoio com seus colaboradores para o desenvolvimento deste trabalho, pela oportunidade de estudo e pesquisa, à qual hoje tenho muito orgulho de ter feito parte de sua história.

RESUMO

O modal rodoviário no Brasil ocupa a maior posição entre os sistemas de transportes mais utilizados. Devido o aumento da demanda, com maior número de veículos e capacidade de carga maiores, surgem desafios para melhoria da qualidade da pavimentação asfáltica empregada nas rodovias brasileiras, com o agravante da defasagem do método de dimensionamento empírico que ainda é utilizado por norma no país, o método DNER-81, que data do ano de 1981. Esta defasagem pode ser avaliada por meios de ensaios não destrutivos, como o *Pavimento Condition Index*, que serve como indicador da qualidade do pavimento já executado. Neste cenário, o Método de Dimensionamento Nacional se mostra como promissor no que diz respeito aos métodos de dimensionamento por sua abordagem atualizada considerando mais fatores determinantes para a qualidade do pavimento. Este trabalho teve como objetivo avaliar e comparar, estruturalmente e financeiramente, o pavimento empregado para determinado trecho da MA-140 com outros pavimentos simulados pelo MeDiNa. A pesquisa partiu de uma análise através do método PCI para avaliar a qualidade do trecho de 5 quilômetros da rodovia e realizou uma comparação estrutural para projeto executado em relação a simulações com diferentes combinações da estrutura do pavimento pelo MeDiNa, além de comparações para estas estruturas com relação ao custo de execução por quilômetro. A partir das simulações e orçamento montados para diferentes combinações de misturas asfálticas possíveis de serem utilizadas seguindo as mesmas premissas do projeto executado, foi possível verificar que a atribuição de outras misturas asfálticas, como o caso de mistura acrescida de material reciclado, MAQ 30% RAP, são mais satisfatórias que a mistura empregada por ter resultado em uma menor espessura decamada de revestimento e um menor custo por quilômetro.

Palavras-chave: misturas asfálticas; método PCI; MeDiNa; custo monetário de pavimentação.

ABSTRACT

The road mode in Brazil occupies the highest position among the most used transport systems. Due to the increase in demand, with a greater number of vehicles and greater load capacity, challenges arise in improving the quality of asphalt paving used on Brazilian highways, with the aggravating factor of the lag in the empirical sizing method that is still used as standard in the country, the DNER-81 method, which dates to 1981. This lag can be assessed using non-destructive tests, such as the Pavement Condition Index, which serves as an indicator of the quality of the pavement already built. In this scenario, the National Sizing Method appears to be promising in terms of sizing methods due to its updated approach considering more determining factors for the quality of the pavement. This work aimed to evaluate and compare, structurally and financially, the pavement used for a certain section of MA-140 with other pavements simulated by MeDiNa. The research started from an analysis using the PCI method to evaluate the quality of the 5-kilometer stretch of the highway and carried out a structural comparison for the project carried out in relation to simulations with different combinations of the pavement structure by MeDiNa, in addition to comparisons for these structures within relation to the execution cost per kilometer. From the simulations and budget created for different combinations of asphalt mixtures possible to be used following the same premises as the project carried out, it was possible to verify that the allocation of other asphalt mixtures, such as the case of a mixture plus recycled material, MAQ 30% RAP , are more satisfactory than the mixture used as they resulted in a smaller coating layer thickness and a lower cost per kilometer.

Keywords: asphalt mixtures; PCI method; MeDiNa; monetary cost of paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas genéricas em um modelo de pavimento.....	20
Figura 2 - Distribuição de cargas em um pavimento flexível.	21
Figura 3 - Camadas de um pavimento flexível.....	21
Figura 4 - Tipologia dos pavimentos flexíveis.	23
Figura 5 - Estágios do processo de fadiga.	24
Figura 6 – Deformações permanentes.	25
Figura 7 - Couro de Jacaré.....	26
Figura 8 - Exsudação.....	26
Figura 9 - Fissuras em Bloco.....	27
Figura 10 - Elevações e recalques.	27
Figura 11 - Corrugação.....	27
Figura 12 - Afundamento localizado.	28
Figura 13 - Afundamento de trilha de roda	28
Figura 14 - Trincas de borda	28
Figura 15 – Trincas por reflexão de juntas.....	29
Figura 16 - Trincas longitudinais e transversais.....	29
Figura 17 - Remendos.	29
Figura 18 – Agregados Polidos.	30
Figura 19 – Painelas.	30
Figura 20 – Escorregamento de massa	30
Figura 21 – Fissuras devido ao escorregamento de massa.....	31
Figura 22 – Inchamento.....	31
Figura 23 – Desgaste.	31
Figura 24 – Derramamento de óleo.	32
Figura 25 – Escala de classificação do estado do pavimento.....	33
Figura 26 – Parâmetros de análise para o método ME.....	36
Figura 27 – Mapa de subdivisão do trecho.....	40
Figura 28 - Metodologia de estudo.....	42
Figura 29 – Interface do MeDiNa	43
Figura 30 - Dados para inserção	43
Figura 31 – Escorregamento de massa da Seção 2.....	46
Figura 32 – Desgaste da Seção 2.....	47

Figura 33 – Fissuras Longitudinais.....	47
Figura 34 – Couro de jacaré na Seção 3.	48
Figura 35 – Desgaste da Seção 3.	48
Figura 36 – Desgaste da Seção 04.	49
Figura 37 – Desgaste da Seção 5.	50
Figura 38 – Afundamento da Seção 6.	50
Figura 39 – Afundamento localizado da Seção 6.	51
Figura 40 – Desgaste da Seção 8.	52
Figura 41 – Recalques na seção 20.....	52
Figura 42 – Desgaste da seção 10.....	53
Figura 43 – Desgaste na Seção 10.	53
Figura 44 – Desgaste na Seção 11.	54
Figura 45 – Desgaste da Seção 12.	55
Figura 46 – Couro de Jacaré da Seção 13.....	55
Figura 47 – Desgaste da Seção 13.	56
Figura 48 – Desgaste da Seção 14.	57
Figura 49 – Couro de jacaré da Seção 15.	57
Figura 50 – Desgaste da Seção 16.	58
Figura 51 – Couro de jacaré da Seção 17.	59
Figura 52 – Couro de jacaré na Seção 18.	59
Figura 53 – Derramamento de óleo da seção 21.	61
Figura 54 – Resultados do PCI em relação às seções avaliadas.	62
Figura 55 – Seção transversal da estrutura do pavimento MA-140.	65
Figura 56 – Interface do software MeDiNa para a primeira simulação com subleito A-2-4.	67
Figura 57 - Sub-base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida.....	85
Figura 58 - Base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial.....	85
Figura 59 - Imprimação com emulsão asfáltica.....	86
Figura 60 - Pintura de ligação.....	86
Figura 61 - Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais.....	87
Figura 62 - Concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais.....	87
Figura 63 - Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais.....	88
Figura 64 - Concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa B - areia e brita comerciais.....	88

Figura 65 - Concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa C - areia e brita comerciais.....	89
Figura 66 - Concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial.....	89
Figura 67 - Concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial.....	90
Figura 68 - Concreto asfáltico reciclado em usina com adição de asfalto - brita comercial..	90
Figura 69 - Dedução para Exsudação	91
Figura 70 - Dedução para Couro de Jacaré	91
Figura 71 - Dedução para Corrugação.	91
Figura 72 - Dedução para Fissuras em Blocos.	91
Figura 73 - Dedução para Elevações/Recalques.....	91
Figura 74 - Dedução para Elevações/Recalques em unidades métricas.	91
Figura 75 - Dedução para Fissuras de Borda	92
Figura 76 - Dedução para Afundamento Localizado.	92
Figura 77 - Dedução para Fissura de Borda por unidade métrica	92
Figura 78 - Dedução para Fissuras por Reflexão de Juntas.	92
Figura 79 - Dedução para Fissura por Reflexão de Juntas por unidade métrica	92
Figura 80 - Dedução para Desnível Pista/Acostamento.	92
Figura 81 - Dedução para Desnível Pista/Acostamento por unidade métrica	93
Figura 82 - Dedução para Fissuras Longitudinais/Transversais.....	93
Figura 83 - Dedução para Fissuras Longitudinais/Transversais por unidade métrica.....	93
Figura 84 - Dedução para Remendos	93
Figura 85 - Dedução para Agregados Polidos	93
Figura 86 - Dedução para Panelas	93
Figura 87 - Dedução para Panelas por unidade métrica	94
Figura 88 - Dedução para Cruzamento de linha férrea.....	94
Figura 89 - Dedução para Sulcos.....	94
Figura 90 - Dedução para Escorregamento de massa.....	94
Figura 91 - Dedução para Escorregamento de massa.....	94
Figura 92 - Dedução para Fissuras devido ao Escorregamento de Massa.....	94
Figura 93 - Dedução para Inchamento	95
Figura 94 - Dedução para Desgaste.....	95
Figura 95 - Dedução para derramamento de óleo	95
Figura 96 - Curvas para o Valor de Dedução Corrigido (VDC)	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para os diferentes tipos de solo.	63
Tabela 2 – Parâmetros para os diferentes tipos de solo.	64
Tabela 3 – Parâmetros para os diferentes tipos de solo.	66
Tabela 4 – Parâmetros para os diferentes tipos de misturas asfálticas.	67
Tabela 5 – Resultados das simulações para cada combinação de subleito e revestimento asfáltico.....	68
Tabela 6 – Valores do desvio padrão e MR – DP para cada tipos de solo.	69
Tabela 7 – Resultados das simulações para cada combinação de subleito e revestimento asfáltico para os valores de MR _{DP}	70
Tabela 8 – Valores quantitativos informados pela SINFRA para cada camada.....	71
Tabela 9 – Quantitativo de m ³ de material para cada combinação de pavimento e tipo de solo para subleito.....	72
Tabela 10 – Custos unitário para as camadas de revestimento.....	73
Tabela 11 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CAP 50-70.	74
Tabela 12 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CAPLEX B PG 64-22.	74
Tabela 13 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CAPLEX 65-90.....	74
Tabela 14 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento MAQ 30% RAP.....	75
Tabela 15 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CBUQ indicado por projeto da SINFRA.....	75
Tabela 16 – Custos totais e por quilômetro para as camadas de reforço do subleito, sub-base, base, imprimação e pintura de ligação.....	76
Tabela 17 – Custo por quilômetro para cada tipo de pavimentação.	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	16
3	OBJETIVOS	18
3.1	Objetivo geral	18
3.2	Objetivos específicos	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1	Pavimento	19
4.1.1	Pavimento flexível	20
4.1.1.1	Estrutura do pavimento flexível.....	21
4.1.1.2	Tipos de pavimentos flexíveis	22
4.2	Mecanismos atuantes para ruptura do pavimento	23
4.2.1	Fadiga.....	23
4.2.2	Deformação permanente	25
4.3	Defeitos encontrados em pavimentos	26
4.4	<i>Pavement condition index (PCI)</i>	32
4.4	Parâmetros para dimensionamento de pavimentos	33
4.4.1	Ensaio CBR.....	33
4.4.2	Módulo de Resiliência	34
4.5	Metodologias para dimensionamento	35
4.5.1	Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1981).....	35
4.5.2	Método Mecanístico Empírico.....	36
4.5.3	Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa).....	37
5	METODOLOGIA	38

5.2	Subdivisão do trecho.....	40
5.3	Simulações pelo MeDiNa.....	42
5.4	Levantamento orçamentário.....	44
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6.1	Aplicação do método PCI.....	45
6.1.1	Avaliação das seções	45
6.2	Avaliação dos resultados do PCI.....	62
6.3	Avaliação dos ensaios geotécnicos da SINFRA	62
6.4	Simulações pelo MeDiNa.....	64
6.5	Dedução e avaliação dos custos.....	71
7	CONCLUSÕES.....	78
	REFERÊNCIAS.....	80
	ANEXO A – Modelo de planilha de inspeção de campo pelo Método do PCI ..	83
	ANEXO B – Modelo de planilha de cálculo do valor do PCI.....	84
	ANEXO C – Composição de custos unitários (SICRO-MA)	85
	ANEXO D – Curvas de valores de Deduções (Shahin, 2005).....	91

1 INTRODUÇÃO

A estrutura logística de transportes de um país é um pilar fundamental para o seu desenvolvimento econômico, uma vez que promove a integração entre suas distintas áreas, transporte e comercialização de mercadorias e commodities. Alvarenga (2020) afirma que o Brasil possui dependência do modal rodoviário, posto que trata-se do sistema mais utilizado no país e que recebeu maiores incentivos federais na sua estruturação.

A pesquisa Boletins Técnicos CNT (2023) aponta que para o recorte mensal em questão os investimentos da União e das estatais em transporte no modal rodoviário chegou a 82,7% do total de investimentos em todos os modais (aéreo – 13,4%; aquaviário – 3,0%; ferroviário – 0,9%), o que demonstra ainda o amplo investimento internamente no setor, embora dados do relatório anual do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2020) aponte que dentre 21 países estudados, o Brasil encontra-se na última colocação em relação a investimentos na infraestrutura de malha rodoviária no ano de 2019, ficando atrás de economias como México, Argentina, Colômbia e Chile. De Barros e Baggio (2022) afirmam que, a malha rodoviária apresenta diversos problemas, tanto quanto a má gestão e baixa qualidade do modal rodoviário quanto aos aspectos estruturais, onde não atendem a demanda e expectativa de vida útil associada em seu dimensionamento.

Ainda segundo dados do CNT (2023) o Brasil possui uma malha rodoviária de 1.721.342 km de extensão, sendo destes um total de 213.933 km de rodovias pavimentadas, o que representa apenas 12,4% do total, sendo também, 1.350.100 km de rodovias não pavimentadas. Este fato demonstra a necessssidade de investimentos em pavimentação em toda a malha rodoviária do país.

A pesquisa CNT Rodovias (2021) apresenta a qualidade da malha rodoviária pavimentada do Brasil, na qual foram investigados 109.103 quilômetros baseando-se na qualidade do pavimento e constatou que 52,2% do total investigado apresenta algum problema em sua estrutura, este fato denota a necessidade de reavaliação da metodologia de implementação da infraestrutura da malha rodoviária do país. A pesquisa associa tais defeitos ao método de dimensionamento utilizado, falhas no processo construtivo e falta de manutenção preventiva e fiscalização, seja na construção ou funcionamento da rodovia em relação ao excesso de peso dos veículos. Devido ao aumento de cargas impostos pelo tráfego ao pavimento somado a utilização de métodos defasados para dimensionamento acarretam no aparecimento precoce de defeitos e o não alcance da vida útil do pavimento dimensionado, sendo geralmente vinte anos (Ramos, 2021).

No Brasil, o principal método utilizado para dimensionamento é o do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Tal metodologia utiliza uma abordagem semi-empírica, ou seja, base empírica com extrapolação realizada a partir da teoria de Boussinesq, que considera em seu dimensionamento apenas a resistência de suporte do solo no subleito da estrutura e os coeficientes estruturais dos materiais como fatores determinantes no projeto (Biedacha, 2020).

Entretanto, de acordo com o Ramos (2020), o método DNER 1981 apresenta defasagens em seu dimensionamento com relação ao aumento do volume de tráfego das rodovias e mudanças nas características dos veículos, além de, principalmente, a não consideração das características dos materiais utilizados e seu desgaste ao longo de sua vida útil. Assim, em 2014, foi proposto um novo método mecanístico-empírico para dimensionamento de pavimentos, sendo este o Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa).

A pavimentação da rodovia MA-140 foi finalizada em 2018, segundo o portal de notícias Governo do Maranhão (2018), no trecho inicial que parte do município de Balsas/MA sentido aos povoados mais próximos, com um trecho pavimentado de 65,8 quilômetros, onde foi utilizado a metodologia DNER-81 para seu dimensionamento, apresenta danos visuais como trincas e fissuras, assim, estima-se que o pavimento poderá não atender a expectativa de vida útil a qual foi previamente dimensionada, sendo necessário uma intervenção para reparos.

Desta forma, o presente trabalho se propõem a avaliar o trecho inicial da rodovia MA-140, do segundo ao sétimo quilômetro de extensão da rodovia em relação ao seu desgaste atual através da obtenção do fator *Paviment Condition Index* (PCI) e realizar uma análise estrutural e financeira, comparando o dimensionamento do trecho realizados através do antigo método DNER 81 e do método MeDiNa.

2 JUSTIFICATIVA

O município de Balsas/MA é reconhecido pela sua produção agrícola em larga escala, o que acarreta no transporte de elevadas cargas, principalmente para o escoamento dos grãos produzidos. Assim, há uma elevada exigência do modal rodoviário, sendo este o principal modal de transportes utilizado na região (Moreira *et al*, 2018). No entanto, segundo Balbo (2007) a constante utilização, somado a fatores climáticos e sub-dimensionamento causam deterioração no pavimento, influenciando diretamente seu desempenho e vida útil.

A MA-140, que tem seu início em Balsas/MA, é uma importante rodovia para escoamento da produção agrícola da região conhecida como “Anel da Soja” e seguem até o Porto de Itaqui, localizado em São Luís/MA, para exportação dos grãos. Segundo IBGE (2023), no ano de 2022 a cidade de Balsas/MA produziu mais de 1.200.000 toneladas entre os grãos de soja e de milho, aumentando a importância do trecho e qualificando a região de Balsas como a 35ª cidade com maior capital proveniente do setor de agronegócios do país. O conjunto de rodovias do Anel da Soja também se constituem pelas MA-006, MA-007 e MA-132. As obras de pavimentação do trecho inicial da MA-140 tiveram início no ano de 2016, sendo pavimentados 67,58 km até o ano de 2018, como afirma o Portal de Notícias do Governo do Maranhão (2018).

Entretanto, o trecho apresenta defeitos precoces em sua estrutura como trinca de jacaré, afundamento e rachaduras. Estas manifestações patológicas sobre o pavimento, considerando a idade do mesmo e que não atingiu o seu limite de vida útil em serviço, demonstram problemas atuantes sobre o asfalto da rodovia, sendo o fator do método de dimensionamento utilizado (DNER-81) um possível fator para o baixo desempenho da pavimentação asfáltica da rodovia MA-140. Segundo a Associação dos Produtores de Soja do Maranhão (Aprosoja-MA), o custo a mais para o transporte da produção agrícola devido as más condições das rodovias no Maranhão é de aproximadamente 20% (Canal Rural, 2019).

Segundo Biedacha (2020) o método de dimensionamento utilizado em uma pavimentação asfáltica pode influir diretamente sobre seu dimensionamento das camadas do pavimento, no custo total de construção do pavimento, no tempo de execução da obra e também na utilização e otimização dos materiais aplicados. O autor afirma também que o dimensionamento utilizando o software MeDiNa apresenta resultados mais promissores em relação ao dimensionamento da pavimentação em comparação com o método DNER-81.

Deste modo, assegura-se a originalidade do presente trabalho quanto a avaliação do trecho pavimentado da rodovia MA-140 através do método PCI, permitindo observar o grau de

deterioração do pavimento e se o mesmo atende os requisitos mínimos de conservação em relação ao seu tempo de uso e vida útil estipulada. Os dados obtidos servirão como base para avaliação quanto ao dimensionamento utilizado e se o atual estado do pavimento atende as expectativas de projeção da rodovia, e por fim, realizando uma comparação entre as metodologias DNER-81 e MeDiNa nos aspectos financeiros e estruturais, buscando compreender se e o novo método MeDiNa atende melhor as demandas solicitadas em um projeto de malha rodoviária.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Comparar o dimensionamento da pavimentação asfáltica da MA-140 com relação aos aspectos estruturais e financeiros, utilizando os métodos DNER-81 e MeDiNa.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o trecho compreendido entre o Km 2 ao Km 7 da MA – 140 sob o aspecto da qualidade de pavimentação asfáltica;
- Avaliar a condição do pavimento do trecho através o método PCI;
- Realizar o dimensionamento do trecho avaliado por meio do MeDiNa para diferentes tipos de revestimentos asfálticos;
- Comparar os resultados do dimensionamento pelo MeDiNa com o projeto executado, que segue o método DNER-81;
- Avaliar os dimensionamentos e o projeto executado para o trecho quanto ao custo financeiro de implantação.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Pavimento

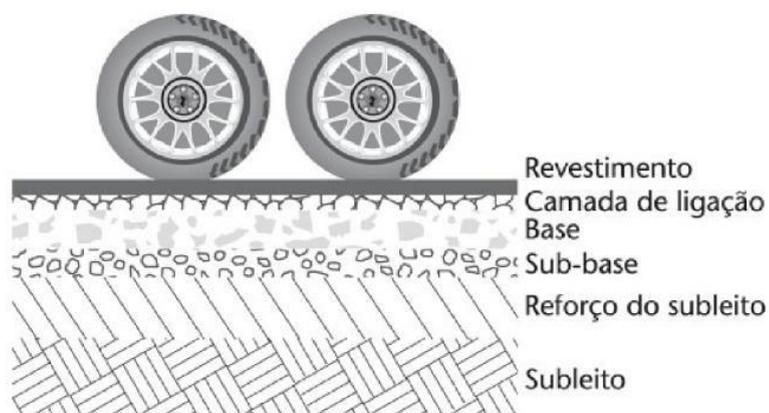
Pavimento é uma superestrutura constituído por múltiplas camadas considerados com espessuras finitas e assentados por sobre solo natural ou terraplanado, sendo esta a última camada (subleito) da estrutura. Os pavimentos destinam-se a resistir aos esforços e solicitações de cargas oriundas do tráfego de veículos em uma rede viária e condições climáticas, também garantindo conforto, economia e segurança (DNIT, 2007; Bernucci *et al*, 2008).

Segundo a Confederação Nacional de Trânsito (CNT, 2019) a construção de um pavimento novo é desenvolvido e dimensionado para um determinado período de tempo, tendo, em geral, tempo de vida útil de 10 anos, e também para atender um determinado fluxo de tráfego viário, que se observa através do número de repetições do eixo padrão simples de roda dupla de 80 kN.

A estrutura do pavimento deve ser capaz de atender as demandas de utilização e eventualidades climáticas de maneira durável, de modo a evitar ao máximo manutenções e reparos ao longo de sua vida útil de projeto. Para isto, é necessário haver o máximo cuidado nas etapas de cálculo, execução e utilização da estrutura, sendo o dimensionamento uma das principais etapas pois nela é definido quais materiais serão utilizados, espessura das camadas e critérios de ruptura a depender dos modelos de análise utilizados (Fritzen, 2016).

Segundo Balbo (2007) as camadas que compoem a estrutura de um pavimento exercem papéis diferentes na distribuição de cargas transmitidas para o solo e podem ser nomeadas da seguinte maneira: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, apresentado na Figura 01. Ressalta-se que a depender do dimensionamento, algumas camadas podem ser removidas ou duplicada.

Figura 1 - Camadas genéricas em um modelo de pavimento.



Fonte: Balbo (2007).

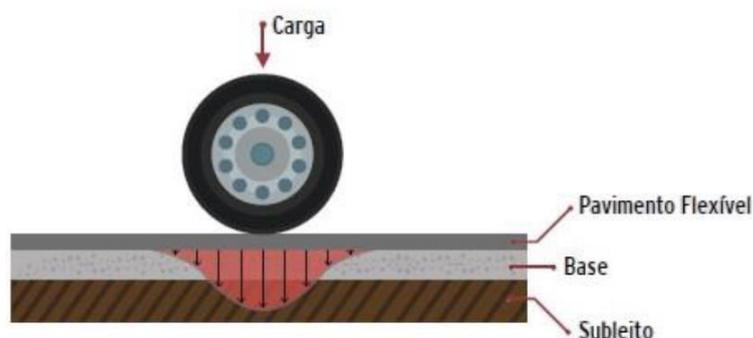
O pavimento viário pode ser classificado em duas principais tipologias: pavimento rígido e pavimento flexível. Entretanto, recentemente há a tendência de nomear e classificar os pavimentos entre pavimentos concreto-cimento e pavimentos asfálticos (Bernucci *et al*, 2008).

4.1.1 Pavimento flexível

A Norma DNIT 031/2006 define pavimento flexível, também denominado como concreto asfáltico, da seguinte maneira: “Mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente”.

O pavimento flexível sofre deformação elástica significativa quando submetido a um carregamento de modo que a carga seja distribuída pontualmente em parcelas pelo máximo de camadas possível de forma equivalente, como apresenta a Figura 02, e isto resulta em uma concentração de tensões nas extremidades onde a carga está sendo aplicada, o que leva a uma baixa dispersão dos esforços (DNIT, 2017).

Figura 2 - Distribuição de cargas em um pavimento flexível.



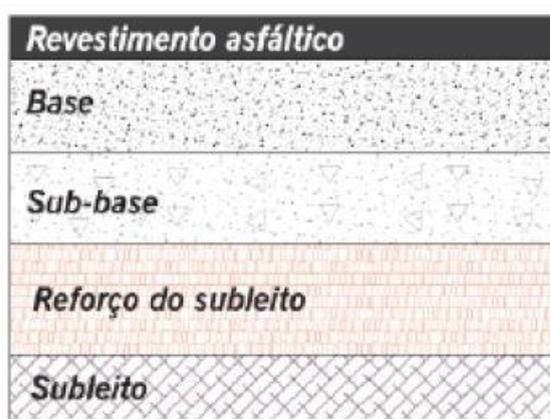
Fonte: Biedacha (2020).

Balbo (2007) afirma que as camadas de um pavimento possuem uma ou mais funções específicas e, como conjunto, devem proporcionar condições adequadas de rolamento e suporte aos veículos e cargas impostas, independente das condições climáticas que se encontram.

4.1.1.1 Estrutura do pavimento flexível

As camadas de um pavimento flexível seguem uma ordem lógica de aplicação e funcionalidades, como apresentado pela Figura 03, e definidas a seguir.

Figura 3 - Camadas de um pavimento flexível.



Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

- I. Subleito – Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2007), o subleito trata-se da fundação de apoio para as demais camadas estruturais da pavimentação, seja composto pelo próprio terreno natural do local ou com melhoramento por determinado material. Deve ser aplicado até a profundidade limite em que atuam as cargas impostas pelo tráfego, onde o DNIT recomenda 1,0 metros no total. Pode haver uma camada de

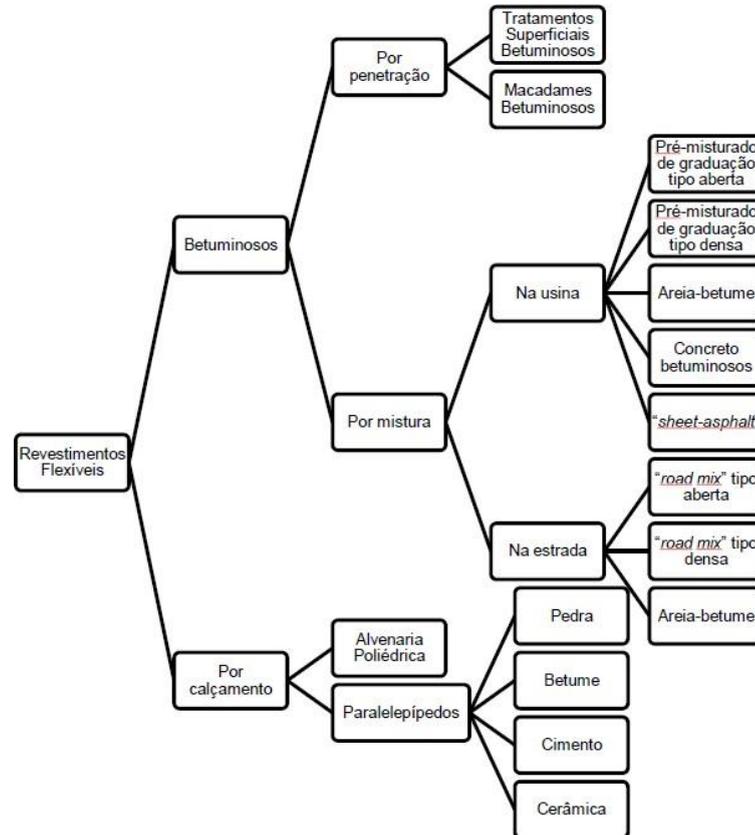
regularização acima do subleito capaz de nivelar a camada e conformá-la transversal e longitudinalmente, compreendendo uma camada de cortes ou aterros de 20 centímetros. A norma indica que o Índice de Suporte Califórnia (*California Bearing Ratio* - CBR) deve ser entre $2\% \leq \text{CBR} \leq 20\%$, até pelo menos 1,0 m;

- II. Reforço do Subleito – Segundo DNIT (2007), o reforço do subleito é a camada executada sobre o subleito devidamente compactado, sendo utilizada para reduzir elevadas espessuras da sub-base (próxima camada) por fatores técnicos ou econômicos. Deste modo, a execução da camada de reforço do subleito pode ser excluída partindo para o dimensionamento direto de uma camada de sub-base com uma melhor resistência e para os casos onde se possui uma camada de subleito com os melhores índices de CBR;
- III. Sub-base – É a camada imediatamente superior ao reforço do subleito (quando este for aplicado) ou sobre a camada subleito, e tem como finalidade complementar a absorção de cargas pela base por fatores técnico-econômicos. A camada de sub-base também pode ser empregada para regularizar a espessura da base e para oferecer drenagem, controlando a percolação de água para as camadas superiores. O CBR da sub-base deve ser maior ou igual a 20% (Silva, 2008);
- IV. Base – Trata-se da camada destinada a distribuir para as camadas inferiores os esforços provenientes do tráfego atribuído ao pavimento. É constituída por materiais granulares regulares ou com aditivos. Deve possuir um valor de $\text{CBR} \geq 60\%$, devido a carga elevada recebida, entretanto, é aceitável considerar o valor de $\text{CBR} \geq 40\%$ nos casos onde há insuficiência de materiais (DNIT, 2007);
- V. Revestimento – a camada de revestimento deve ser, tanto quanto possível, impermeável e destina-se a receber diretamente as cargas de rolamento proporcionadas pelo tráfego de veículos. O revestimento melhora as condições trafegabilidade, proporcionando conforto acústico e de rolamento e a camada pode ser subdividida por fatores construtivos ou econômicos entre: camada de rolamento; camada de ligação; camada de nivelamento e camada de reforço (Balbo, 2007).

4.1.1.2 Tipos de pavimentos flexíveis

A tipologia de pavimentos flexíveis, seus métodos construtivos e materiais empregados podem ser descritos de acordo com o Manual de Conservação Rodoviária do DNER (1996), como apresentado pela Figura 04.

Figura 4 - Tipologia dos pavimentos flexíveis.



Fonte: Barbel, (2016).

As diferentes metodologias de aplicação para pavimentos flexíveis devem levar em consideração os vários aspectos referentes ao projeto executivo local, levando pautas como disponibilidade de materiais, tempo de execução, cargas impostas ao pavimento, métodos de dimensionamento e resistência e topografia do terreno.

4.2 Mecanismos atuantes para ruptura do pavimento

4.2.1 Fadiga

Os defeitos que ocorrem em pavimentos podem partir de diferentes agentes provocadores, entre eles, a repetição de pequenas deformações elásticas, ocasionadas por carregamentos cíclicos e, conseqüentemente, danos em níveis de tensões menores que os danos obtidos em ensaios estáticos de ruptura é denominado de fadiga (Medina e Motta, 2015). Tais repetições provocam rupturas por simples perda de coesão das fases do material e atuam nas regiões de maiores tensões, assim, os vazios presentes no material reúnem-se, originando

fissuras no corpo (Isaia, 2007). Boeira *et al* (2018) afirma que o surgimento de tais fissuras facilita a penetração e percolação da água nas camadas granulares do pavimento, provocando deterioração precocemente na estrutura.

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (1979) define o mecanismo de fadiga como:

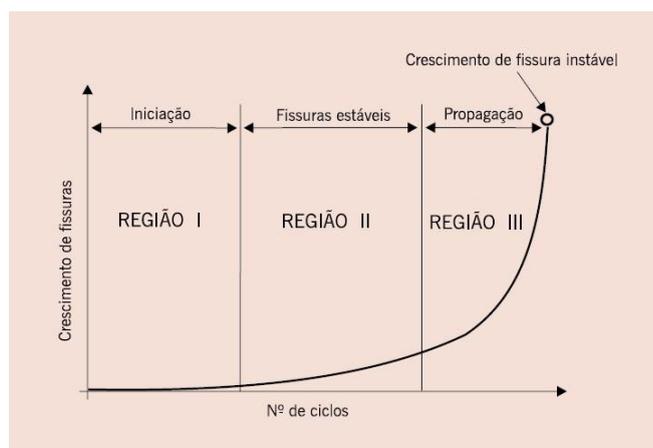
O processo de mudança estrutural permanente, progressiva e localizada que ocorre em um ponto do material sujeito a tensões de amplitudes variáveis que produzem as fissuras que conduzem para totalizar a falha após um determinado número de ciclos.

Estruturas sujeitas a carregamentos cíclicos passam por estágios pré-definidos de fadiga, como ilustra a Figura 05. Os diferentes estágios, de acordo com Bernucci *et al* (2008), são:

- ✓ Região I: ocorrem as primeiras mudanças microestruturais; são formadas as microfissuras; a quantidade de deslocamentos de vazios se intensifica e são visíveis as primeiras zonas de danos permanentes.
- ✓ Região II: devido a junção de microfissuras, surgem as primeiras microfissuras.
- ✓ Região III: aumento exponencial de microfissuras, o que leva ao colapso da estrutura.

A vida de fratura (N_f) e a vida de serviço (N_s) são termos que definem a vida de fadiga de uma mistura asfáltica sendo N_f referente ao número total de ciclos aplicados de determinada carga necessária para o rompimento ou fratura completa de uma amostra e a N_s referente ao número de ciclos aplicados necessários para reduzir o desempenho ou rigidez de uma amostra até um nível pré-estabelecido (Bernucci *et al*, 2008).

Figura 5 - Estágios do processo de fadiga.



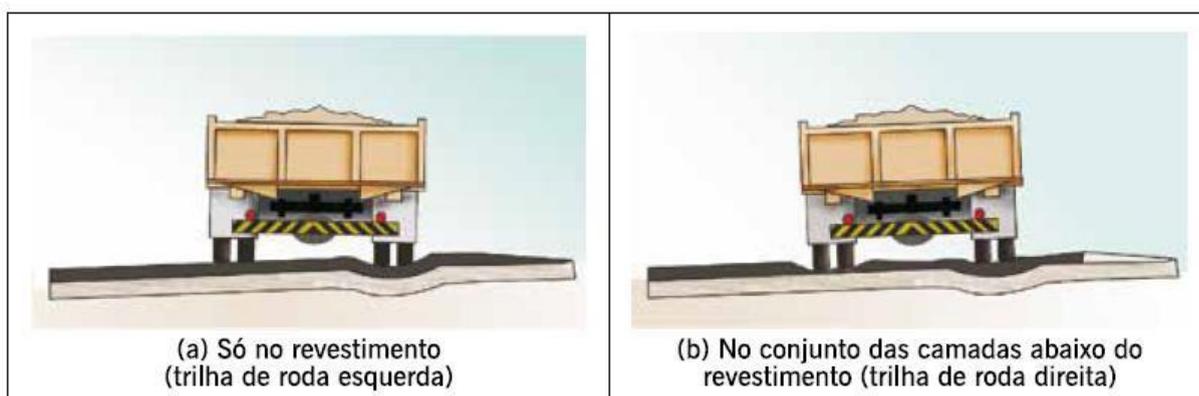
Fonte: Fontes, (2009).

O ensaio de compressão diametral é o mais adequado e utilizado no Brasil para verificação da efetividade de um pavimento quanto a fadiga, embora observe-se correlação com outros ensaios de modalidades dinâmicas. Este ensaio é realizado utilizando tensões verticais repetidas e distribuídas na tangente do corpo de uma amostra, sendo que a carga não se alterará até que o corpo seja rompido, diferentemente de um ensaio de deformação dinâmica, onde a carga deve ser alterada em relação as próprias fissuras e deformações implicadas ao corpo da amostra e sendo cessado o ensaio quando há a perda pré-estabelecida de rigidez (Medina e Motta, 2015).

4.2.2 Deformação permanente

Afundamentos no pavimento por deformações permanentes (DP) são defeitos comuns na estrutura asfáltica, podendo ser atribuído ao pavimento (camada superficial) ou às subcamadas resultado da passagem de elevadas cargas e ruptura ao cisalhamento, e ocasionam o surgimento de trilhas de roda na superfície do revestimento, como apresenta a Figura 06. Estas deformações são evitadas na etapa de dimensionamento do pavimento com a escolha correta dos materiais para cada camada e na execução com a correta compactação, onde ambas as soluções proporcionam a limitação das tensões atuantes à níveis admissíveis e seguros para as cargas impostas (Bernucci *et al*, 2008).

Figura 6 – Deformações permanentes.



Fonte: Bernucci *et al.*, (2002).

A *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) analisou a contribuição das diferentes camadas de um pavimento na deformação total e revelou que a camada de revestimento asfáltico contribui com 32% com a DP, em sequência a camada

de base contribui com 4% da deformação, sub-base com 45% e o subleito infere 19% da DP (Medina e Motta, 2015).

Os ensaios utilizados para caracterização da deformação permanente em pavimentos asfálticos são principalmente: *creep* estático, ensaio uniaxial de carga repetida e ensaio de módulo dinâmico. Também, obtendo equipamentos especiais com passagem de rodas é possível utilizar simuladores de laboratório (Bernucci *et al.*, 2008).

4.3 Defeitos encontrados em pavimentos

O *Paver Distress Identification Manual* (2009), com base em Shahin e Kohn (1977), quantifica e caracteriza os possíveis defeitos em pavimentos asfálticos, como demonstrado a seguir.

- Couro de Jacaré - Conjunto de trincas poligonais em área, causados por fadiga.

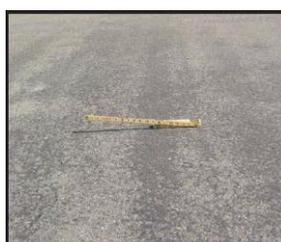
Figura 7 - Couro de Jacaré.



Fonte: USACE, (2009).

- Exsudação - Dilatação do asfalto em área por excesso de calor, ligante ou baixo índice de vazios.

Figura 8 - Exsudação.



Fonte: USACE, (2009).

- Fissuras em Bloco - Trincas em formatos retangulares causadas por retração em virtude da mudança de temperatura.

Figura 9 - Fissuras em Bloco.



Fonte: USACE, (2009).

- Elevações e recalques – deformações transversais à pista, provocadas pela consolidação diferencial do subleito. Neste caso, o comprimento de onda entre duas cristas elevadas é da ordem de metros.

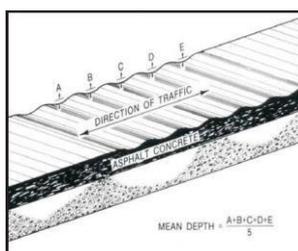
Figura 10 - Elevações e recalques.



Fonte: A voz da Serra, (2020).

- Corrugação – de modo semelhante a elevações e recalques, porém, em menor escala de comprimento de onda entre duas cristas. É resultado de uma má execução da base ou falha no dimensionamento.

Figura 11 - Corrugação.



Fonte: USACE, (2009).

- Afundamento localizado – depressão longitudinal com extensão de até 6 m caracterizado por deformação plástica das camadas de subleito, base ou pavimento em decorrência da alta incidência do fluxo de veículos e baixa capacidade de carga das camadas empregadas.

Figura 12 - Afundamento localizado.



Fonte: Além da Inércia, (2020).

- Afundamento de trilha de roda – de modo semelhante ao afundamento localizado, entretanto, para depressões com extensão superior a 6 m.

Figura 13 - Afundamento de trilha de roda.



Fonte: Monografias, (2021).

- Trincas de borda – ocorrem em até 60 cm da borda do pavimento, decorrentes de uma intensa umidade entre as camadas e geralmente quando não há pavimentação do acostamento.

Figura 14 - Trincas de borda.



Fonte: USACE, (2009).

- Trincas por reflexão de juntas – processo de contínuo aumento das fissuras nas camadas inferiores, que tendem a cada vez mais não suportar as solicitações de tráfego, até que as fissuras atinjam a camada superior do pavimento.

Figura 15 – Trincas por reflexão de juntas.



Fonte: USACE, (2009).

- Trincas longitudinais e transversais – trincas existentes quando as juntas não são bem executadas, por meio de reflexão de fissuras à superfície ou por retração por variação de umidade. Fissuras de modo aleatório sobre o pavimento, caracteriza estágio inicial de fadiga.

Figura 16 - Trincas longitudinais e transversais.



Fonte: USACE, (2009).

- Remendos – embora seja um reparo para alguma manifestação patológica existente anteriormente, o remendo é considerado também uma anomalia por se distinguir da característica original do pavimento.

Figura 17 - Remendos.



Fonte: USACE, (2009).

- Agregados Polidos – processo de desagregação do pavimento, ocasionando a perda de textura e resistência a derrapagem.

Figura 18 – Agregados Polidos.



Fonte: USACE, (2009).

- Pannels – popularmente conhecido como “buraco”, trata-se de uma cavidade que pode atingir 1 ou mais camadas do revestimento asfáltico, pode ser acelerado por presença de água por desagregar as camadas.

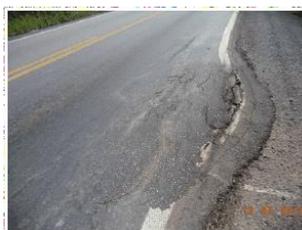
Figura 19 – Pannels.



Fonte: Campo Grande News, (2013).

- Escorregamento de massa – baixa estabilidade da mistura asfáltica, sendo esta “escoada” para outra região.

Figura 20 – Escorregamento de massa.



Fonte: Hughes *et al*, (2020).

- Fissuras devido ao escorregamento de massa – ocorrem devido as tensões tangenciais à sua direção, devido às forças de aceleração, frenagem ou mudança de direção dos veículos que se deslocam sobre a pista.

Figura 21 – Fissuras devido ao escorregamento de massa.



Fonte: Canteiro de Engenharia, (2019).

- Inchamento – ocorre em detrimento à dilatação entre as camadas, provocando uma abertura das juntas, pode ser provocado por agentes externos como plantas parasitas.

Figura 22 – Inchamento.



Fonte: FREEPIK, (2022).

- Desgaste – processo natural de envelhecimento do pavimento relacionado pela passagem de veículos, ocasionando a perda de aderência dos ligantes betuminosos, oxidação, deslocamento dos agregados e intemperismo.

Figura 23 – Desgaste.



Fonte: Infraestrutura, (2022).

- Derramamento de óleo – o óleo, que atua como solvente no asfalto, pode ser derramado sobre a pista e adentrar nas pequenas trincas do pavimento, corroendo a camada de revestimento asfáltico.

Figura 24 – Derramamento de óleo.



Fonte: USACE, (2009).

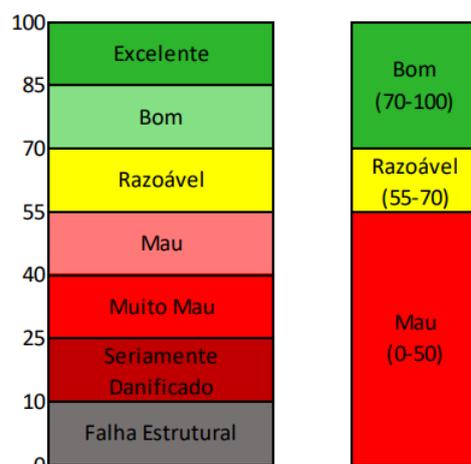
4.4 Pavement condition index (PCI)

O *Pavement Condition Index* (PCI) é um indicador numérico que descreve o grau de degradação de pavimentos flexíveis e rígidos, sendo desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE). O índice baseia-se inteiramente na observação, identificação e medição de manifestações patológicas nas superfícies de pavimentos, fornecendo uma base para averiguar a necessidade de possíveis intervenções ou manutenções futuras (ASTM D5340-12, 2012).

Shain e Khon (*apud* APS *et al.*, 1998) afirmam que o método PCI avalia a integridade do pavimento através de um índice numérico que quantifica, em uma escala regressiva (100 à 0), os defeitos encontrados no trecho analisado. Este método permite caracterizar a integridade estrutural do trecho, necessidades de manutenção e desempenho do pavimento, sendo um importante estudo para apontar quais foram as falhas na concepção ou estruturação do pavimento. Segundo Gonçalves (1999), os parâmetros para descrição dos defeitos devem seguir a ordem de: tipos de defeitos; severidade; frequência; e extensão.

Assim, os valores de PCI classificam a pavimentação do trecho pelos seus valores, de acordo com a Figura 25.

Figura 25 – Escala de classificação do estado do pavimento.



Fonte: Domingos, (2017).

Segundo Barros (2008), a classificação “bom” e “razoável” exigem apenas manutenções correntes e preventivas, já a classificação “mau” exigem manutenções de curto prazo, podendo ser de reconstrução.

4.4 Parâmetros para dimensionamento de pavimentos

4.4.1 Ensaio CBR

O ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), tradução de *California Bearing Ratio* (CBR) foi desenvolvido como uma ferramenta de auxílio para integrar o dimensionamento de pavimentação rodoviária. O índice CBR, expresso em percentual, se resume pela relação entre a pressão necessária de penetração de um pistão padrão em uma amostra de solo e a mesma pressão exigida para penetrar um corpo de prova em brita graduada padrão (CBR = 100%), sendo determinante para apresentar a capacidade de suporte de solos compactados (Santarém *et al.*, 2021).

Foi introduzido no Brasil em 1966 pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza e rapidamente tornou-se um dos principais índices utilizados no país na área de pavimentação, e logo foi padronizado, sendo conduzido atualmente pela NBR 9895 (1987) e DNIT 172 (2016) (Biedacha, 2020).

De acordo com as normas NBR 9895 (1987) e com DNIT 172 (2016) este tipo de ensaio permite também a verificação do índice de expansividade do solo analisado, considerando que em uma das etapas do ensaio, a amostra de solo é imersa em água por pelo menos quatro dias,

sendo necessário para avaliação da durabilidade do material da amostra. O ensaio CBR possui três etapas distintas:

- I. Compactação do corpo de prova: é executado uma compactação de, geralmente, cinco corpos de provas com teores de umidades distintas, com energia de compactação padrão. Nesta etapa pode ser obtido a variação de densidade seca e a umidade ótima da amostra;
- II. Expansão: os corpos de provas são imersos em água por pelo menos quatro dias, realizando leituras a cada vinte e quatro horas das amostras;
- III. Resistência a penetração: os corpos de provas serão retirados de sua imersão em água, será feito uma drenagem com 15 minutos de duração e levados para a prensa para rompimento através de um pistão cilíndrico a uma velocidade de 1,27 mm/min. As pressões são lidas utilizando um anel dinamômetro entre as penetrações 2,54 e 5,08 mm. As pressões para obtenção do CBR são expressas de acordo com a Equação 03.

$$CBR(\%) = \frac{PRESSÃO\ CORRIGIDA}{PRESSÃO\ PADRÃO} \quad (1)$$

Segundo DNIT (2007) os materiais siltsos e outros solos expansíveis apresentam valores de CBR inferiores a 6%, solos finos apresentam $8\% \leq CBR \leq 20\%$ (a exemplo os solos arenosos), pedregulhos e britas graduadas, consideradas como solos grossos, apresentam CBR variando de 50% a 100%.

4.4.2 Módulo de Resiliência

O Módulo de Resiliência (MR) trata-se da relação da carga aplicada em um material pela deformação elástica sofrida pelo mesmo. Por analisar a deformação resiliente, este parâmetro caracteriza o comportamento elástico dos solos para uma carga não suficiente para provocar deformações permanentes (Medina e Motta, 2015).

O MR de materiais asfálticos é obtido através da ação de uma carga cíclica, sendo a deformação recuperável analisada através de *Linear Variable Differential Transformer* (LVDTs). No Brasil é utilizado o ensaio de compressão diametral de cargas cíclicas para verificação do MR em materiais asfálticos, sendo padronizado pela norma DNIT 135/2018. Já para solos e materiais granulares, o MR é obtido através do ensaio triaxial de cargas repetidas (Balbo, 2007).

4.5 Metodologias para dimensionamento

No Brasil, as demandas crescentes no ramo de pavimentação asfálticas impulsionadas pelo crescimento da frota de veículos, exigem a necessidade de implantação de novos modelos e metodologias para dimensionamento de pavimentos asfálticos, alterando a visão empírica de dimensionamento para uma visão mecanística-empírica (Chiarello *et al.*, 2019).

Segundo Baldo (2007) os métodos de dimensionamento foram aprimorados ao longo do tempo e podem ser classificados em três tipos:

- Método empírico – realizado através de modelagem estatística envolvendo parâmetros físicos observacionais, foi o primeiro modelo implantado para dimensionamento de pavimentos;
- Método semi-empírico – evolução do modelo empírico, utiliza extrapolação e expansão de resultados empíricos com base em teorias analíticas. Neste modelo são introduzidos parâmetros como o CBR;
- Método empírico-mecanístico – calibração de modelos teóricos com dados experimentais obtidos, introdução de aspectos de degradação de pavimentos, como a fadiga, que influem diretamente no comportamento do pavimento em sua vida útil.

4.5.1 Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1981)

O Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1981) foi introduzido no Brasil pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza no ano de 1966 pelo Instituto Militar de Engenharia e passou a ser implementado no país desde então, sofrendo uma atualização em 1981. O método foi desenvolvido tomando como base o *Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*, trabalho desenvolvido pela *US Army Corps of Engineers (USACE)* a partir de observações nas pistas experimentais da AASHTO (Gracioli, 2022).

O método é empírico, com base no índice CBR e possui o intuito de proteger o subleito de deformações plásticas excessivas e seu dimensionamento é realizado tomando como base o número de repetições de eixo-padrão de 80 kN durante o período de vida de projeto. O método determina que um material utilizado para subleito deva apresentar expansão menor ou igual a 2% e $\text{CBR} \geq 2\%$ (DNIT, 2006a; Balbo, 2007).

Ademais, o dimensionamento leva em conta o Número de Equivalência de Eixos (N),

que é o número de ciclos dos eixos de cada veículo ao longo da vida útil da rodovia. O valor de N , por sua vez, tem como base o Fator de Equivalência de Carga (FEC), também desenvolvido pela USACE. O valor de N é alterado a depender das condições climáticas regionais pelo Fator Regional (FR), que para o Brasil é adotado $FR = 1,0$, segundo estudos do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) (Gracioli, 2022).

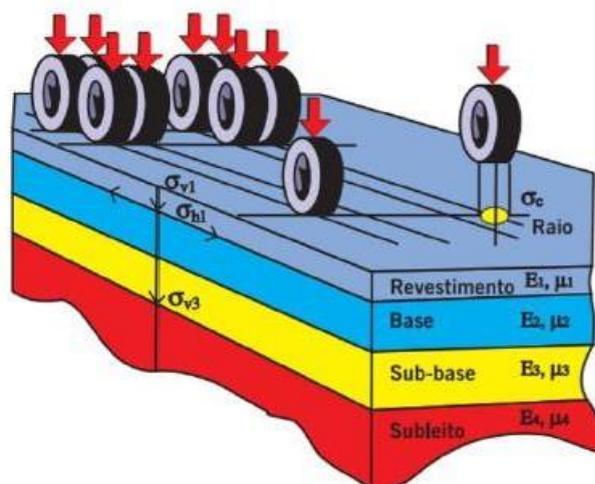
O método considera critérios de ruptura da estrutura com cisalhamento das camadas granulares e dos solos, e também a deformação excessiva em trilhas de roda. Entretanto, o método não considera rupturas por fadiga, fator importante na degradação de pavimentos (Pinto, 1991). Gracioli (2022) afirma que o método possui deficiências por utilizar-se de uma base experimental voltada para os aspectos climáticos e do solo dos EUA, não contemplando inteiramente as propriedades dos solos brasileiros, embora o método tenha sido utilizado por muitos anos no Brasil.

4.5.2 Método Mecanístico Empirístico

O método Mecanístico Empirístico (ME) compreende a estrutura do pavimento analiticamente equacionando os esforços e cargas impostas às resistências dos materiais e demais fatores que possam intervir na estrutura do pavimento. O método atua de acordo com o princípio da Teoria de Sistema de Camadas Elásticas (TSCE), que se assemelha a um roteiro de análise estrutural, permitindo a verificação da interação entre as diferentes camadas quando submetidas a carregamentos, como apresenta a Figura 26 (Santarém, 2021).

A análise mecanística-empírica utiliza-se de recursos computacionais para determinar as respostas estruturais de uma estrutura de pavimento pré-dimensionada, onde é possível avaliar os danos acumulados durante a vida útil da estrutura e determinar se satisfaz os critérios de desempenho estabelecidos para o projeto (Fontanele, 2011). Assim, segundo Biedacha (2020), o método MeDiNa, por considerar o módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson para analisar a rigidez das camadas do pavimento e os coeficientes para avaliação matemática de um modelo através dos parâmetros de danificação (deformação permanente das camadas granulares e solos e fadiga para as camadas de revestimentos asfálticos), promove a verificação de pavimentos por meio da Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC).

Figura 26 – Parâmetros de análise para o método ME.



Fonte: Bernucci *et al.*, (2006).

Os esforços impostos sobre a estrutura pela carga de tráfego e o número de suas repetições devem ser equilibrados às resistências dos materiais das camadas de pavimentação, de modo a garantir a estabilidade e durabilidade do revestimento, também levando em consideração fatores externos, como fatores climáticos, na escolha dos materiais (Santarém, 2021).

Por meio da verificação de estruturas por meio de elementos finitos passou a ser possível considerar o comportamento não linear das camadas utilizando uma malha de elementos finitos e restrições de fronteira de carregamento (Senço, 2007). O ME utiliza as características físicas de cada material utilizado no dimensionamento, por isso, o conhecimento acerca do MR dos materiais empregados é grande importância (Silvano, 2015).

4.5.3 Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa)

O Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) foi desenvolvido a partir de 2015 pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da UFRJ – COPPE, com também participação do Centro de Pesquisas da Petrobrás – CENPES juntamente com várias universidades do Brasil (Santarém *et al.*, 2021). O MeDiNa surgiu do aperfeiçoamento do programa SisPav, apresentado na tese de Franco (2007).

O projeto de desenvolvimento do MeDiNa iniciou em 2009, quando o IPR pavimentou

trechos experimentais, por diferentes modelos e composições, variando de 200 a 300 metros em rodovias do Brasil e monitorou o comportamento de cada uma delas. Com base nos dados obtidos através deste monitoramento, foi desenvolvido o MeDiNa, sendo utilizado para dimensionamento de novos pavimentos através de uma Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC) e também para retro análise de bacias deflectométricas, nos casos de restauração de rodovias já pavimentadas, conhecido como *BackMeDiNa* (Biedacha, 2020).

Segundo Franco e Motta (2020) a metodologia de dimensionamento MeDiNa baseia-se na utilização de três programas distintos que complementam um ao outro, sendo estes: o próprio MeDiNa (para dimensionamento de pavimentos flexíveis); (ii) AEMC (que verifica a tensão e deformação através de uma análise elástica de multicamada); (iii) BackMeDiNa (que avalia o estado das camadas tendo como base bacias deflectométricas). Tal metodologia promove uma maior veracidade nos fatores que influem sobre o pavimento asfáltico e, desde modo, garante o correto dimensionamento do pavimento, evitando trabalhos de reestruturação precoce do pavimento e conseqüentemente evitando gastos posteriores à pavimentação inicial, se comparado com o método DNER-81.

O cálculo das tensões, deformações e deslocamentos da estrutura de um pavimento são realizadas pelo MeDiNa através de dados de entrada como as espessuras das camadas, bem como seus respectivos valores de MR e coeficiente de Poisson e o valor de N para as cargas cíclicas geradas pelas passagens de veículos. Com isto, o método consiste na verificação se as cargas impostas levarão ao trincamento excessivo das camadas de revestimento ou o afundamento por trilha de roda maior que o aceitável estabelecido para sua vida útil (Knabben e Carpio, 2020).

Laube e Batista (2021), em um estudo comparativo entre o dimensionamento de um mesmo trecho de rodovia para os métodos DNER-1981 e MeDiNa, afirmam que houve uma considerável diferença de espessuras de revestimento, base e sub-base para os dois métodos, tendo o MeDiNa resultados com as maiores espessuras. De acordo com os autores do estudo, o MeDiNa apresenta maior eficiência visto que seu dimensionamento não permite deformações superiores a 30% ao longo de 10 anos de vida útil do pavimento, beneficiando seu custo a longo prazo pois evita manutenções precoces ao pavimento, embora em sua concepção inicial, seu custo de construção seja maior devido as maiores espessuras das camadas.

5 METODOLOGIA

O presente estudo possui como propósito principal realizar uma comparação entre os

métodos de dimensionamento para pavimentos flexíveis de uma rodovia localizada no município de Balsas/MA, para tanto, foi avaliado o estado de degradação da rodovia MA-140, do trecho que segue do quilômetro 2 ao quilômetro 7, através do método PCI para averiguação das condições de utilização da rodovia em correspondência ao esperado, que foi dimensionada e constituída através do método DNER-1981.

5.1 Método PCI

A determinação do PCI parte da seleção de um trecho rodoviário para análise, subdividido em seções com áreas iguais, onde nestas seções são identificados os tipos, percentual da área afetada e grau de severidade de cada manifestação patológica encontrada. Estes dados são utilizados para obter o valor de dedução (α), que representa a influência que tal defeito representa sobre a condição total do pavimento no trecho, valor que varia de 0 (onde não há influência) até 100 (que indica máxima atuação prejudicial ao pavimento). Os valores de α são obtidos através de ábacos, determinados por Shahin (2005). Com isto, é possível obter o Valor Total de Dedução (VTD) através da Equação 02 (Borbel, 2016).

$$VTD = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} \alpha(T_i, S_j, D_{ij}) \quad (2)$$

Onde:

p = número total de tipos de defeitos para o pavimento;

m_i = número de níveis de severidade para o i -ésimo tipo de defeito;

i = contador do tipo de defeitos;

j = contador dos níveis de severidade;

α = valor de dedução;

T_i = tipos de defeitos;

S_j = níveis de severidade;

D_{ij} = densidade.

É necessário corrigir o valor de VTD em relação a quantidade de defeitos encontrados no trecho, também se utilizando de um ábaco de Shahin (2005). Assim, o valor de PCI se resume pela Equação 03 (Borbel, 2016).

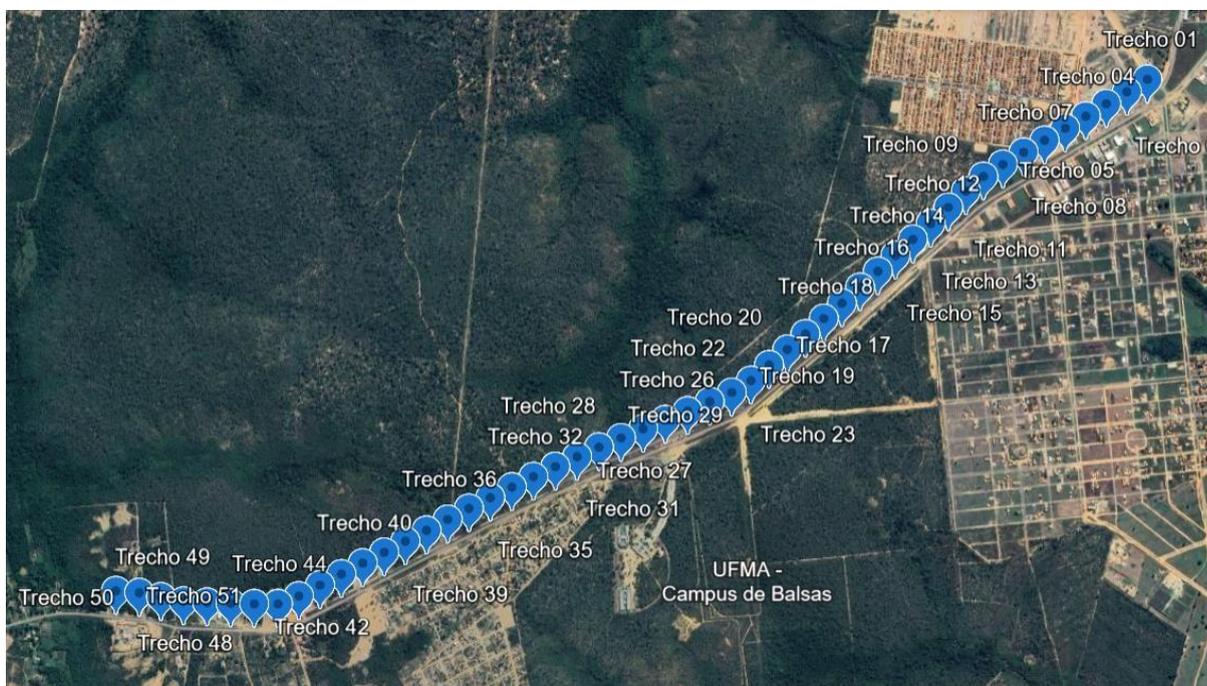
$$PCI = 100 - VDC \quad (3)$$

5.2 Subdivisão do trecho

O trecho foi subdividido em 50 partes equivalentes a 100 metros lineares cada com o auxílio do *Google Earth*, onde será analisado somente uma faixa em subtrechos intercalados, tendo um total de 350 m² de área para avaliação, assim como apresenta a Figura 27. A ficha de monitoramento pelo método PCI utilizada para esta pesquisa pode ser observada no Anexo A deste trabalho.

Foram selecionados 25 seções com dimensões de 3,5 metros de largura por 100 metros de comprimento seguindo os parâmetros de análise dispostos na norma ASTM D5340, dispostos nos 5 quilômetros totais do trecho analisado, sendo intercalada cada seção avaliada, entre pista esquerda e pista direita, para obter um resultado mais próximo da realidade do trecho total.

Figura 27 – Mapa de subdivisão do trecho.



Fonte: *Google Earth*, (2023).

A análise pelo método PCI foi realizada na data de 20/11/2023, com o auxílio de um telefone celular com a localização dos pontos subdivididos em seções, através do software *Google Earth*. Na ocasião foram utilizados: prancheta, caneta, fichas de preenchimento do PCI e câmera fotográfica. O método PCI, por ser uma avaliação visual e intuitiva, não exige detalhamentos e medições específicas de áreas e comprimentos das manifestações patológicas,

por isso, a experiência e conhecimento do avaliador promovem uma maior qualidade dos resultados.

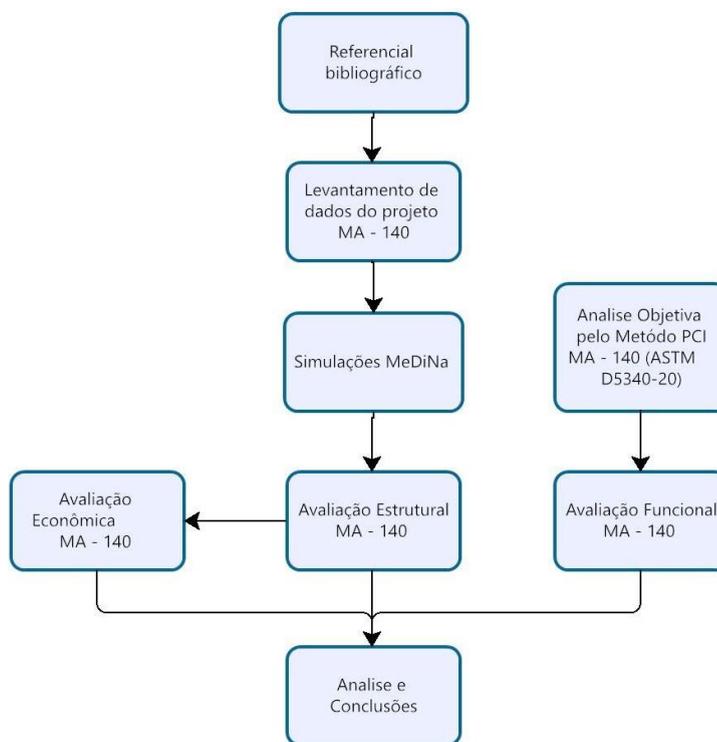
Após a análise em campo, tendo anotado as deficiências do pavimento no trecho, é calculado o valor de PCI através dos ábacos de Shahim, buscando uma melhor avaliação da qualidade do pavieimento em seu trecho total.

Por fim, o mesmo trecho foi dimensionado utilizando o MeDiNa para fins de comparação estrutural e financeira com o método DNER-1981, em relação aos aspectos da pavimentação. O projeto de implantação da rodovia foi obtido através da Secretaria de Estado de Infraestrutura do Maranhão (SINFRA-MA) por meio de requisição. Através dos dados disponibilizados pela SINFRA, foi possível obter valores médios para o *Índice de Suporte California* (ISC) para a camada de subleito, além do desvio padrão dos dados de ISC para as jazidas onde foram recolhidos os materiais para subleito. No projeto, foram identificados, também, 4 principais tipos de grupos de solos, classificados pelo *Highway Research Board* (HRB), sendo assim, a etapa de dimensionamento também seguirá para estes 4 tipos de solos, realizando análises para cada uma, a fim de um melhor resultado comparativo entre os métodos de dimensionamento. Os tipos de solos, classificados pelo HRB são: A-2-4; A-2-6; A-4 e A-6.

Considerando que o *software* MeDiNa considera apenas o parâmetro de Módulo de Resiliência (MR) para o solo, foi necessário realizar a conversão dos valores de ISC para MR. Segundo Preusler (1983), que é exibido pela Equação 04:

$$MR = 326 + 67 \times ISC \quad (4)$$

Com a obtenção dos dados, foram utilizados dados da literatura para dimensionar 3 tipos de pavimentos diferentes, sendo eles: CBUQ, reciclável e modificado com polímero. A Figura 28 apresenta um resumo da metodologia utilizada para este estudo.

Figura 28 - Metodologia de estudo.

Fonte: O Autor, (2023).

5.3 Simulações pelo MeDiNa

O *software* MeDiNa é livre para uso gratuito, podendo ser baixado pelo site gov.com, no Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes. O sistema necessita da descrição, disposição e parâmetros referentes aos materiais utilizados para cada camada. O sistema também dispõe de uma base de dados de materiais que serão utilizados para as combinações de dimensionamento das camadas com misturas asfálticas diversas neste trabalho. A Figura 29 e Figura 30 mostram a interface do usuário ao entrar no programa e os dados que podem ser inseridos para cada tipo de material utilizado no dimensionamento. Vale ressaltar que nem todos os dados necessitam serem preenchidos para que o programa faça as simulações. Entretanto, o sistema exige que o usuário preencha os dados de Módulo de Resiliência (Mpa), Massa Específica (g/m^3) e os parâmetros das curvas de deformação, que variam de k1 a k4, a depender do material.

Figura 29 – Interface do MeDiNa.

MeDiNa - v.1.1.9.0 - abr/2023

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

RESPONSÁVEL: André EMPRESA: Nome da empresa projetista

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc. MODO: Pavimento Novo (Nível A)

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	10,0	9000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaise C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG(1)	20,0	250	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via: Sistema Arterial Primário

WMD (1º ano): 1370

FV: 1.000

N anual (1º ano): 5.00e+05

% Veículos na faixa de projeto: 100

N Anual da faixa: 5.00e+05

Taxa de crescimento (%): 0.0

Período de projeto (anos): 10

N Total: 5.00e+06

Projeto novo NÍVEL <A>

Fonte: O Autor, (2023).

Figura 30 - Dados para inserção .

Propriedades da Camada 1

BASE DE DADOS

Projeto

Classe 1

Classe 2

Classe 3

Classe 4

RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba

RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba

RJ CAP 30/45 #19,1mm Sepetiba

RJ CAP 50/70 #19,1mm Sepetiba

CAP 50/70 Marshall (Fabiano)

MAR-BL10% (Laiana)

MAQ 30% RAP (Jeovanessa)

MAQ 0% RAP (Jeovanessa)

CONCRETO ASFÁLTICO

Material: RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba

Parâmetros

Espessura (cm): 10,0

Coefficiente de Poisson: 0,30

Contato: Não Aderido

Módulo (MPa)

Modelo Constituinte: Resiliente Linear

Módulo (MPa): 9000

Características

Tipo de CAP: CAP 30/45 - PG 70-16

Massa específica (g/cm³): 2,4

Resistência à tração CD (MPa): 2,08

Teor de asfalto (%): 6,0

Volume de vazios (%): 5,0

Faixa Granulométrica: #12,5mm

Abração Los Angeles (%): 40,0

Norma ou Especificação: DNIT ES 31

Curva de Fadiga

Modelo: k1 .(et ^ k2)

Coefficiente de Regressão (k1): 5,0e-14

Coefficiente de Regressão (k2): -3,992

Classe de Fadiga: 2

FFM (100µ a 250µ): 0,75

Excluir Atualizar Salvar OK Cancel

Fonte: O Autor, (2023).

Para as análises, serão escolhidos misturas asfálticas da literatura, e tendo como base,

as especificações obtidas através do relatório de projeto disponibilizado pela Secretaria de Estado de Infraestrutura do Maranhão, referentes ao projeto de pavimentação do trecho de 65,4 km da MA-140. Também foram selecionados dados disponibilizados no próprio MeDiNa, de sub-base, base e alguns exemplos de misturas de revestimento.

5.4 Levantamento orçamentário

O Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) oferece uma base de dados orçamentários de insumos e composições para obras do DNIT. Este material será utilizado para criar o orçamento dos pavimentos executados e simulados através do MeDiNa, tomando como base suas respectivas espessuras de camadas, comprimento total do trecho e detalhamentos de projeto com as medidas transversais de cada camada da estrutura do pavimento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Aplicação do método PCI

Foram selecionados 25 seções com áreas de 3,5 metros de largura por 100 metros de comprimento seguindo os parâmetros de análise dispostos na norma ASTM D5340, dispostos nos 5 quilômetros totais do trecho analisado, sendo intercalada cada seção avaliada, entre pista esquerda e pista direita, para obter um resultado mais próximo da realidade do trecho total.

As seções foram avaliadas com base na planilha de anotações dispostas no Anexo B, onde foram quantificadas e qualificadas quaisquer degradações dispostas sobre a pavimentação da MA-140. Foram consideradas quanto ao grau de severidade, sendo B, M e A para severidades baixas, médias e altas, respectivamente, também considera-se a área total da degradação ou seu comprimento longitudinal. As manifestações patológicas possíveis de serem encontradas foram: I – Trincas por fadiga (Couro de Jacaré) II – Exsudação; III – Trincas em blocos; IV – Elevações/Recalques; V – Corrugação; VI – Afundamento localizado; VII – Trincas de borda; VIII – Trincas por reflexão de juntas; IX – Desnível de pavimento/acostamento; X – Trincas longitudinais e transvesais; XI – Remendos; XII – Agregados polidos; XIII – Panelas; XIV – Afundamento de trilho de roda; XV – Escorregamento de massa; XVI – Inchamento; XVII – Desgaste; XVIII – Derramamento de Óleo.

De posse destes dados referentes a cada degradação do pavimento, é possível relacionar a densidade (quantidade de área/comprimento das manifestações patológicas em relação a área/comprimento total da seção) dos defeitos encontrados com o Valor Total de Dedução (VTD), obtido através dos ábacos de Shahin (2005) que estão dispostos no Anexo 3, os valores de VTD devem ser corrigidos em função do número de defeitos diferentes encontrados no trecho através do gráfico no Anexo D para o Valor de Dedução Corrigido (VDC). Por fim, o valor de PCI trata-se da diferença entre 100 e o valor de VDC, sendo portanto, o valor de 100 o resultado mais positivo do pavimento e 0 para o mais defeituoso.

6.1.1 Avaliação das seções

A seção 1 encontra-se no início do trecho, logo após a uma rotatória, trata-se de um trecho de um maior fluxo de transito principalmente de veículos leves, pois é uma rota de acesso

para um bairro residencial da cidade cuja sua entrada se encontra entre o trecho 03. Na seção 1 foram encontrados os seguintes defeitos:

- Afundamento localizado com área equivalente a 0,25 m² e severidade baixa, tendo portanto uma densidade de ocupação de 0,071% e valor de dedução de 1;
- Remendos com área equivalente a 1,6 m² e severidade média, possuindo densidade de 0,46% e valor de dedução de 6;
- Desgaste da pista, com área equivalente a 67,5 m² e severidade considerada como média, portanto, possui densidade de 19,3% da área total e dedução de 7.

Deste modo, o VTD é de 14, sendo o mesmo para valor considerado para VDC e assim, o valor de PCI é de 86, classificando a seção como “Excelente”.

A Seção 2 encontra-se entre os pontos 3 e 4, sendo ainda rota de acesso para o bairro residencial, tendo portanto maior fluxo de veículos leves, porém com baixa velocidade. Nesta seção foram encontrados os seguintes defeitos:

- Escorregamento de massa, possuindo uma área de 4,0 m² e considerada com severidade baixa. A densidade desta manifestação foi de 1,14%, tendo valor de dedução de 5. Como apresenta a Figura 31.

Figura 31 – Escorregamento de massa da Seção 2.



Fonte: O Autor, (2023).

- Desgaste com área de 7,5 m², severidade média. Tendo densidade de 2,14% e valor de dedução de 11. A Figura 11 apresenta tal degradação.

Figura 32 – Desgaste da Seção 2.



Fonte: O Autor, (2023).

O VTD para a seção 2 foi de 16, corrigido para um valor de VDC igual a 8, o PCI, portanto, totalizando 92, sendo considerado a condição do pavimento como “Excelente”.

A Seção 3 encontra-se entre os pontos 5 e 6, logo após a entrada para o bairro residencial, portanto, a velocidade do fluxo tende a aumentar e se concentrar em somente veículos mais pesados de transporte.

- Fissuras Longitudinais com comprimento de 2 m e com severidade baixa, como apresenta a Figura 33. A densidade neste caso é dada em relação ao comprimento total (100 m) da seção, sendo igual a 2% e o valor de dedução de 6.

Figura 33 – Fissuras Longitudinais.



Fonte: O Autor, (2023).

- Couro de Jacaré, possuindo uma área de 0,5 m² e severidade baixa. A densidade da deformação foi de 0,14% e valor de dedução de 5. A Figura 34 apresenta a deformação por couro de jacaré.

Figura 34 – Couro de jacaré na Seção 3.



Fonte: O Autor, (2023).

- Desgaste com área de 22,5 m² e severidade média, como apresenta a Figura 14. A densidade foi de 6,43% e valor de dedução de 35.

Figura 35 – Desgaste da Seção 3.



Fonte: O Autor, (2023).

Assim, o VTD foi de 26, sendo o corrigido para um VDC de 14, com isso, o valor de PCI foi igual a 86, classificando a seção 03 como “Excelente”.

A Seção 4 apresenta-se entre os pontos 7 e 8, e segue as mesmas premissas da Seção 3

em relação a suas especificidades. As degradações encontradas na Seção 4 foram:

- Fissuras em blocos, possuindo área total equivalente a 2 m² e severidade média. A densidade da manifestação foi de 0,57% e valor de dedução igual a 1.
- Desgaste com área de 45 m² e severidade média. Como apresenta a Figura 36. Atribuiu-se uma densidade de 12,86% e valor de dedução de 20.

Figura 36 – Desgaste da Seção 04.



Fonte: O Autor, (2023).

A seção teve VTD de 21, sendo corrigida para também 11 de VDC, assim, o valor de PCI foi igual a 89, tornando-a classificada como “Excelente”.

A Seção 5 encontra-se entre os pontos 09 à 10, ainda não tendo obstrução de trânsito ou empecilhos, sendo uma seção com tráfego de veículos pesados com rápido fluxo. As degradações encontradas na Seção 5 foram:

- Fissuras Longitudinais com comprimento de 10 m e severidade baixa. A densidade em relação ao comprimento total é de 10% e valor de dedução de 31.
- Desgaste com área de 30 m² e severidade média. A densidade da área com desgaste foi de 8,57% e valor de dedução de 17. Como apresenta a Figura 37.

Figura 37 – Desgaste da Seção 5.



Fonte: O Autor, (2023).

O VTD foi de 48, sendo ajustado para 36 em função do número de manifestações. Assim, o valor de PCI foi de 64, classificando a Seção 5 como “Razoável”.

A Seção 6 está entre os pontos 11 e 12, sendo pouco após uma curva e início de um aclive na pista, necessitando que veículos passem a frear e provocando maiores tensões sobre o pavimento. As degradações encontradas na Seção 6 foram:

- Afundamento com área de 0,1 m² e severidade média. Como apresenta a Figura 38. A densidade dessa manifestação foi de 0,03% e valor de dedução de 1.

Figura 38 – Afundamento da Seção 6.



Fonte: O Autor, (2023).

- Afundamento localizado com área de 0,75 m² e severidade média. Tendo, portanto, densidade de 0,2% e valor de dedução equivalente a 11. A Figura 39

apresenta o afundamento localizado na seção.

Figura 39 – Afundamento localizado da Seção 6.



Fonte: O Autor, (2023).

- Desgaste, com área de 15 m² e média severidade. A densidade da área desgastada foi de 4,29%, obtendo um valor de dedução de 13.

O Valor Total de Dedução foi de 25, sendo ajustado para um VDC de 14 por considerar os 3 tipos de defeitos encontrados. Portanto, o valor de PCI foi de 86, classificando a Seção 6 como “Excelente”.

Não foram encontrados defeitos na Seção 7, classificando o trecho com PCI igual a 100, sendo também como “Excelente”.

A Seção 8 encontra-se entre os pontos 15 e 16, possuindo as mesmas características de trajeto da seção 6 e 7. Para esta seção, os defeitos encontrados foram:

- Desgaste com área total de 60,0 m² e severidade baixa. Como apresenta a Figura 40. A densidade dessa manifestação foi de 17,14% e valor de dedução de 7.

Figura 40 – Desgaste da Seção 8.



Fonte: O Autor, (2023).

Deste modo, o VTD para a seção 8 foi de 7, sendo também 7 para o VDC, sendo o valor de PCI de 93 e classificando a seção como “Excelente”.

A Seção 9 está disposta entre os pontos 17 e 18 e possui as mesmas características da seção anterior com relação à sua geometria e particularidades. Nesta seção foi observado apenas um defeito, descrito a seguir:

- Afundamento de trilha de roda que abrangem uma grande área da pista, possuindo área total de 135 m² e com severidade média. Como apresenta a Figura 41. A densidade do defeito foi de 38,57%, e obteve-se um valor de dedução de 5.

Figura 41 – Recalques na seção 20.



Fonte: O Autor, (2023).

A Seção 9 apresentou VTD de 50, sendo o mesmo valor para VDC, deste modo, o valor de PCI do trecho foi de 50, classificando a seção como “Mau”.

Situada entre os pontos 19 e 20 e não apresenta inclinações ou curvas Na Seção 10 foram encontrados dois tipos de defeitos, sendo eles:

- Desgaste com severidade alta e área de 4,0 m². A densidade foi considerada como 1,14% e valor de dedução de 17. A Figura 42 apresenta o defeito por degradação.

Figura 42 – Desgaste da seção 10.



Fonte: O Autor, (2023).

- Desgaste com área total de 135 m², considerado com severidade baixa. A densidade foi de 38,57% e valor de dedução de 11. A Figura 43 apresenta o defeito por desgaste.

Figura 43 – Desgaste na Seção 10.



Fonte: O Autor, (2023).

A Seção 10 apresentou, portanto, VTD de 28, sendo o mesmo valor para VDC em função de um único defeito associado à seção. Assim, o valor de PCI foi de 72, classificando a seção como “Bom”.

A Seção 11 está situada entre os pontos 21 e 22, sendo próximo a uma curva leve e também acesso para o retorno da MA-140. Nesta seção foram identificados os seguintes defeitos:

- Exsudação com área de 30 m² e severidade baixa. A densidade do defeito em relação ao total foi de 8,57% e valor de dedução de 3.
- Foi identificado uma degradação por desgaste com severidade alta, sendo a área total de 8,0 m². A densidade foi de 2,29%, com valor de dedução de 23. Como apresenta a Figura 44.

Figura 44 – Desgaste na Seção 11.



Fonte: O Autor, (2023).

Deste modo, a seção obteve valor de VTD de 26, sendo corrigido para um VDC de 11, caracterizando a seção como “Excelente” por um valor de PCI igual a 89.

Localizada entre os pontos 23 e 24, abrange a pista de saída da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), estando disposta logo após a uma curva e sem inclinações no seu trajeto. A degradação identificada na seção foi:

- Desgaste com área total de 80 m², sendo considerada como severidade baixa. A densidade do desgaste encontrado foi de 22,86%, atribuindo-se um valor de dedução de 6. A Figura 45 retrata o desgaste da seção.

Figura 45 – Desgaste da Seção 12.



Fonte: O Autor, (2023).

A Seção 12 obteve um VTD de 8, sendo o mesmo valor para a correção VDC. Deste modo, o valor de PCI atribuído foi de 92, considerando a seção como “Excelente”

Localizada entre os pontos 25 e 26, a Seção 13, localizada bem à frente UFMA, e possuindo as mesmas características da seção anterior em relação ao seu fluxo de veículos. Nesta seção, foram identificados os seguintes defeitos:

- Couro de jacaré, possuindo área total de 22,5 m² e severidade média, como apresenta a Figura 46. A densidade de tal manifestação em relação a área total foi de 6,43% e seu valor de dedução igual a 42.

Figura 46 – Couro de Jacaré da Seção 13.



Fonte: O Autor, (2023).

- Foram identificados duas áreas com desgaste, sendo o primeiro com área de 8 m² e severidade baixa, sua densidade foi de 2,29% e valor de dedução de 2. O

outro trecho teve área de 67,5 m² e severidade média, possuindo densidade de 15% e valor de dedução igual a 24. Como apresentado pela Figura 47.

Figura 47 – Desgaste da Seção 13.



Fonte: O Autor, (2023).

A Seção 13 obteve um valor de VTD igual a 68, o qual foi corrigido para um VDC de 42 devido ao número de diferentes defeitos encontrados. Assim, o valor de PCI foi de 58, classificando a seção como “Razoável”.

A Seção 14 está localizada entre os pontos 27 e 28, e segue as mesmas premissas da seção anterior com relação a seus aspectos de geometria e fluxo de veículos. Foi encontrado apenas uma degradação, sendo ela descrita a seguir:

- Duas áreas com desgaste, sendo a primeira com área de 5 m² e a segunda com área de 15 m², ambas foram consideradas com severidade baixa. A densidade de área da soma das regiões defeituosas foi de 5,71% e um valor de dedução de 4. A Figura 48 apresenta o defeito por desgaste da seção.

Figura 48 – Desgaste da Seção 14.



Fonte: O Autor, (2023).

A Seção 14 teve portanto um valor de 4 para VTD, sendo o mesmo valor para VDC, assim, o valor de PCI foi de 96, sendo a seção classificada como “Excelente”.

Localizada entre os trechos 29 e 30, a Seção 15 apresenta a entrada do retorno a pista da rodovia e em condições de inclinação na pista. Nela, foram identificadas as seguintes manifestações:

- Couro de jacaré com área de 1 m² e severidade baixa. A densidade do defeito foi de 0,28% e valor de dedução de 5. A Figura 49 apresenta o defeito por couro de jacaré da seção.

Figura 49 – Couro de jacaré da Seção 15.



Fonte: O Autor, (2023).

- Duas áreas com desgaste, sendo o primeiro trecho com 20 m² e o segundo trecho

com 4,5 m², ambos as áreas foram considerados com severidade baixa. A densidade obtida da soma das áreas com desgaste foi de 7% e valor de dedução de 5.

A Seção apresentou, portanto, um VTD de 10, sendo o VDC de 4, valor de PCI igual a 96, classificando a seção como “Excelente”.

A Seção 16 está localizada entre os pontos 31 e 32, sendo início para entradas em uma zona residencial, as seguintes manifestações foram identificadas na seção:

- Couro de jacaré com área de 4 m² e severidade média, como apresentado na Figura 50. A densidade desse defeito foi de 1,14% e seu valor de dedução de 24.

Figura 50 – Desgaste da Seção 16.



Fonte: O Autor, (2023).

- Desgaste com severidade alta, possuindo uma área de 12 m² e percentual de densidade de 1,14%, atribuindo-se, assim, um valor de dedução igual a 24.
- Duas áreas com desgaste, sendo a primeira com área de 30 m² e a segunda com área de 20 m², ambas as áreas foram considerados com severidade baixa. Assim, possuem somados densidade de 14,28% da área e valor de dedução de 6.

A Seção 16 teve, portanto, valor de VTD de 56, sendo corrigido para 32 por considerar os três tipos de defeitos encontrados. Por fim, o valor de PCI encontrado foi de 68, caracterizando a consideração do pavimento da seção como “Razoável”.

A Seção 17 está localizada entre os pontos 33 e 34, seguindo as mesmas premissas da seção anterior. Nesta seção verificou-se a presença de apenas um defeito, sendo este:

- Couro de jacaré com área de 1 m² e severidade média, como apresenta a Figura 51. A densidade dessa deformação foi de 0,29% e seu valor de dedução de 12.

Figura 51 – Couro de jacaré da Seção 17.



Fonte: O Autor, (2023).

A seção teve, assim, VTD de 12, sendo o mesmo valor para VDC, e PCI de 88, classificando a seção como “Excelente”.

A Seção 18 está localizada entre os pontos 35 e 36, seguindo ainda as mesmas premissas das seções anteriores. Nesta seção foram identificadas as seguintes manifestações:

- Couro de jacaré que abrange uma área de 10 m², sendo considerada com severidade média. Possui uma densidade em relação ao total de 2,86% e valor de dedução de 32. A Figura 52 apresenta a deformação por couro de jacaré no pavimento.

Figura 52 – Couro de jacaré na Seção 18.



Fonte: O Autor, (2023).

- Desgaste com área de 21 m², sendo considerado com severidade baixa. Possuindo uma densidade de 6% e valor de dedução de 4.

Assim, a Seção 18 apresentou VTD de 36, sendo corrigido para um VDC de 22, sendo, por fim, o PCI igual a 78 o que classificou a seção como “Bom”.

Estando localizada entre os pontos 37 e 38, a Seção 19 segue com as mesmas premissas das seções anteriores, possuindo um fluxo rápido de tráfego de veículos leves e pesados. Nesta seção foi avistada a seguinte deformação:

- Desgaste com severidade baixa e área de 10 m², possuindo, portanto, densidade de 2,86% da área total e valor de dedução igual a 4.

Deste modo, o VTD foi de ainda 4, sendo o mesmo para VDC e o valor PCI foi igual a 96, caracterizando a seção como “Excelente”.

A Seção 20 compreendo os pontos de 39 a 40 e possui os mesmos aspectos das seções imediatamente anteriores. Nesta seção as seguintes deformações foram identificadas:

- Duas áreas que apresentam deformações por couro de jacaré, sendo o primeiro com área de 8 m² e o segundo trecho com área de 20 m², ambas as áreas foram considerados com severidade média. A densidade da soma das áreas dos foi de 8%, sendo atribuído um valor de dedução igual a 44.
- Área equivalente a 4,0 m² com desgaste sobre a pista, possuindo severidade alta e densidade de 1,14%, tendo, assim, um valor de dedução igual a 17..
- Uma área com desgaste equivalente a 45 m² e severidade baixa. Possuindo, assim, densidade de 12,86% e valor de dedução igual a 6.

Para esta seção, obteve-se um VTD de 67, sendo ajustado para 41 o VDC, atribuindo um valor de PCI de 59 para a seção e sendo classificada como “Razoável”.

A Seção 21 está localizada entre os pontos 41 e 42, sendo este trecho próximo a uma curva e a um posto, sendo portanto uma zona de frenagem de veículos. Nesta seção, foi identificado apenas um tipo de deformação, sendo este:

- Couro de jacaré com área de 17,5 m² e severidade média. Com isto, a densidade dessa deformação sobre a área é de 5% e seu valor de dedução de 38.
 - Derramamento de óleo com área de 60 m², como mostra a Figura 32, para este caso não é considerado a severidade visto que este defeito não evolui para casos mais severos, apenas é considerada a área atingida. Este defeito possui densidade sobre a área do trecho de 17,14% e valor de dedução igual a 22.

Figura 53 – Derramamento de óleo da seção 21.



Fonte: O Autor, (2023).

Nesta seção, o VTD foi de 60, sendo o VDC corrigido para 40, o que resulta em um PCI de 60 e classificando a seção como “Razoável”.

A Seção 22 compreende os pontos de 43 a 44, situada ainda em uma zona de frenagem, e entrada e saída de veículos da pista. Nesta seção, apenas uma deformação foi identificada, descrita a seguir:

- Desgaste abrangendo uma área de 6 m² e com severidade baixa. Assim, a densidade desta deformação foi de 1,71% e seu valor de dedução igual a 3.

Por só haver um defeito, esse mesmo valor (3) foi igual para VTD e VDC, sendo o valor PCI igual a 97 e considerando a seção como “Excelente”.

Localizada entre os pontos 45 e 46, a Seção 23 apresenta as mesmas premissas das seções imediatamente anteriores. Nesta seção, a única deformação encontrada foi:

- Desgaste com uma pequena área, sendo ela igual a 2 m² e baixa severidade. A densidade dessa deformação é de 0,57% e seu valor de dedução de 2.

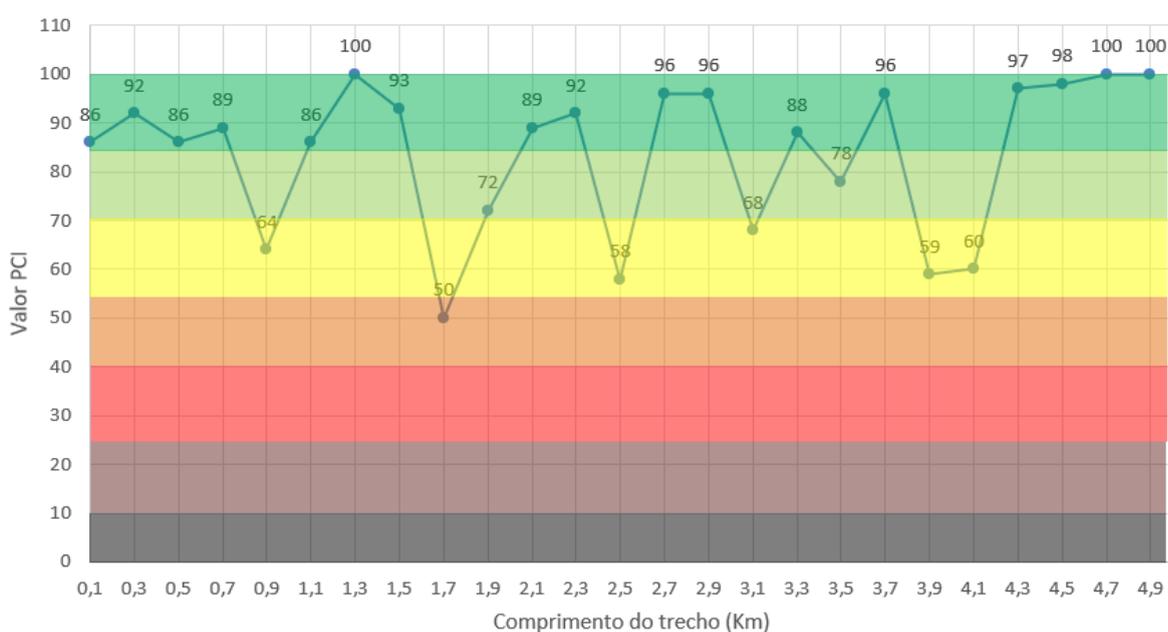
Assim, por também haver somente um tipo de deformação na seção, o valor de VTD e VDC são ambos iguais a 2, resultando em um PCI de 98 e classificando a seção como “Excelente”.

Nas Seções 24 e 25, sendo as duas últimas seções avaliadas no estudo, não foram encontradas deformações visíveis sobre o pavimento. Assim, às suas seções é atribuído o valor de PCI igual a 100, caracterizando ambas as seções como “Excelentes”.

6.2 Avaliação dos resultados do PCI

A Figura 54 apresenta um resumo dos resultados obtidos pela avaliação em campo em relação aos valores de PCI, relacionando-os pelas seções analisadas.

Figura 54 – Resultados do PCI em relação às seções avaliadas.



Fonte: O Autor, (2023).

Observa-se que há uma maior depreciação das condições do pavimento nas seções centrais, sendo estes os piores trechos por conter muitas zonas de frenagem, principalmente dos veículos pesados, o que acaba por danificar o revestimento asfáltico. Entretanto, o valor médio para o valor de PCI foi de 83,7%, o que caracteriza o trecho como bom, deste modo, o pavimento tem atualmente bom desempenho, haja visto que as seções mais graves já foram reparadas, permitindo observar o grau de deterioração do pavimento e se o mesmo atende os requisitos mínimos de conservação em relação ao seu tempo de uso e vida útil estipulada.

6.3 Avaliação dos ensaios geotécnicos da SINFRA

Dentre os dados fornecidos pela SINFRA-MA referentes ao projeto e estudos para a pavimentação do trecho da MA-140, estão os estudos geotécnicos obtidos em campo e laboratório do trecho total a ser pavimentado (65,4 quilômetros) sendo realizados 336 furos de sondagem para análise, o relatório expõe, entre outras informações, a numeração do furo de

songadem, o tipo de solo encontrado que será utilizado como subleito, granulometria, limites de Atterberg, os valores de ISC e densidade máxima. Segundo a classificação H.R.B. foram encontrados 4 tipos principais de solos nos estudos avaliados, sendo eles:

- A-2-4: solos granulosos e silte-argilosos;
- A-2-6: solos granulosos e silte-argilosos;
- A-4: siltes;
- A-6: argilas

Assim, é necessário avaliar os dados individualmente para cada tipo de solo de modo a direcionar um melhor dimensionamento nas etapas subsequentes. Para cada tipo de solo segundo a classificação H.R.B. foram coletados os dados de numeração do furo, densidade máxima e Índice de Suporte Califórnia (ISC). A Tabela 01 apresenta os valores obtidos para os diferentes tipos de solo.

Tabela 1 – Parâmetros para os diferentes tipos de solo.

H.R.B.	Média I.S.C.	Média Dens. Máx. (kg/m ³)	Desvio Padrão I.S.C.
A-2-4	12	1865	2,58
A-2-6	10,5	1891	2,42
A-4	10,26	1828	2,69
A-6	10,83	1852	2,27

Fonte: O Autor, (2023).

O tipo de solo A-2-4 apresentou o melhor resultado de ISC em comparação aos demais, por se tratar de um solo granuloso ou silte-argiloso. Os demais tipos de solo, por estarem classificados como solos pobres, apresentaram valores de ISC com qualidade abaixo do recomendado, atribuindo a necessidade de reforço do subleito para os solos A-4 e A-6, como especificado em projeto, onde nestes casos foi utilizado uma camada de reforço com 40 cm de espessura com o solo A-2-4 acima da camada do subleito de menor resistência.

Como os valores de ISC são obtidos em um percentual em relação a um valor padrão e considerando que o *software* MeDiNa necessita dos dados em Módulo de Resiliência (MR), é necessário realizar a conversão de ISC para MR através de uma relação. Preussler (1983) introduziu ensaios de resiliência no Brasil e utilizou uma relação entre o MR e os valores de ISC, esta relação é descrita a pela Equação 05 a seguir:

$$MR = 326 + 67 \times ISC \quad (5)$$

Assim, utilizando a mesma relação para obter os valores em MR a partir dos ensaios de ISC para o projeto da MA-140, é possível obter os novos valores em MR dispostos na Tabela 02.

Tabela 2 – Parâmetros para os diferentes tipos de solo.

Média ISC	MR (kgf/cm ²)	MR (Mpa)
12	1130,0	110,8
10,5	1029,5	101,0
10,26	1013,4	99,4
10,83	1051,6	103,1

Fonte: O Autor, (2023).

Com base nos valores de MR para o subleito, obtendo também os valores de massa específica.

6.4 Simulações pelo MeDiNa

Os documentos disponibilizados pela SINFRA-MA acerca do projeto e estudos para a pavimentação asfáltica da rodovia MA-140, apresenta em suas pesquisas o valor de N total, que representa o número de passagens de um eixo traseiro simples de rodagem dupla em um determinado período de tempo, que pode ser calculado através do Volume Médio Diário (VDM) de tráfego que é registrado em uma rodovia durante 24 horas. Os valores de VDM e N expostos pela SINFRA são observados pelas Equações 6 e 7:

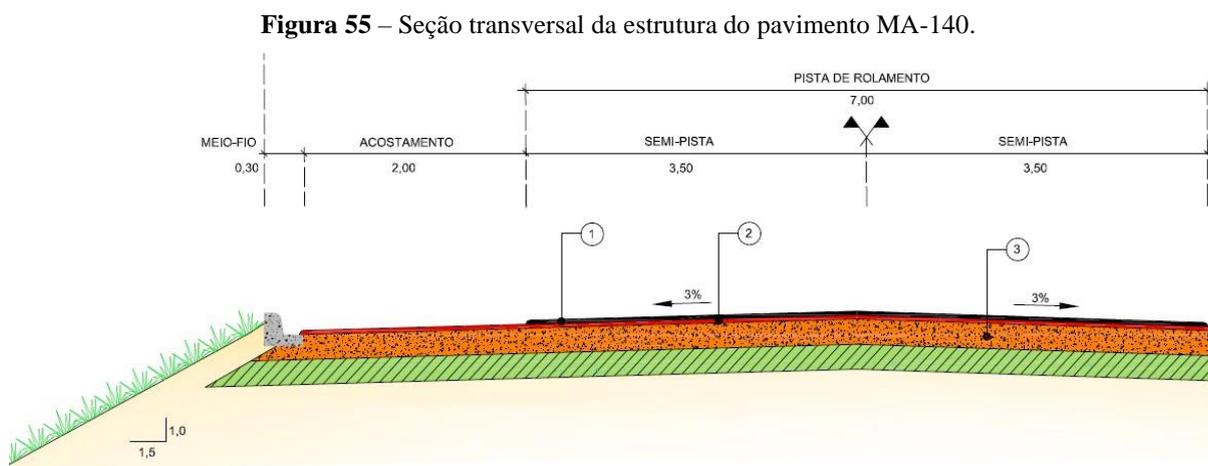
$$VDM = 1425 \quad (6)$$

$$N_{total} = 5,2 \times 10^6 \quad (7)$$

Segundo o relatório informado pela SINFRA, verifica-se que o levantamento de dados para o tráfego no trecho da MA-140 foi realizado no período de 48 horas, o que pode comprometer uma análise verídica sobre o real volume médio diário de veículos que transitam pela rodovia, de modo que, ao final, o pavimento executado pode ter sido superdimensionado, o que condiz com o resultado positivo encontrado para a via através do método PCI utilizado para avaliação.

Para alimentar os dados iniciais exigidos pelo MeDiNa, além do N_{total} , também é necessário informar os materiais e seus parâmetros para cada camada que compõe a estrutura

do pavimento. De acordo com o projeto fornecido pela SINFRA, sugere-se que a estrutura do pavimento seja composta por 2 camadas de revestimento asfáltico de Concreto Betuminoso Usinado a Quente, cada uma com 4 cm de espessura, seguido por uma camada de base estabilizada granulometricamente com mistura (solo/areia “90/10%” em peso), possuindo uma espessura de 15 cm, e uma camada de sub-base estabilizada granulometricamente sem mistura e com espessura de 20 cm, o sub-leito apresenta os tipos de solo A-2-4, A-2-6, A-4 ou A-6, onde para os solos A-4 e A-6, por serem de menor qualidade, recomenda-se por projeto a execução de reforço do subleito com espessura de 40 cm utilizando solo A-2-4, ou melhor, além da substituição da camada A – 6, por se tratar de um solo com baixa capacidade de carregamento. A Figura 55 apresenta o esquema de disposição das camadas do pavimento sugerido pela SINFRA-MA.



Fonte: SINFRA-MA, (2014).

Os materiais de base e sub-base foram selecionados com base na descrição dos materiais indicados no projeto da SINFRA-MA, uma vez que não há dados específicos sobre os parâmetros destas camadas, foi selecionado no próprio banco de dados do MeDiNa solos que se assemelhassem aos indicados no projeto. Os solos selecionados para compor as camadas de base e sub-base são, respectivamente:

- Solo fino, siltoso ou argiloso – Solo Areno-Argiloso LG'(2) com 15,0 cm de espessura;
- Material granular – Solo Brita – M3 (LG' s:1521) com 20,0 cm de espessura.

As propriedades dos materiais selecionados para base e sub-base estão descrito pela Tabela 02. Os valores de k_1 , k_2 , k_3 e k_4 são parâmetros da curva de deformação permanente dos materiais obtidos em ensaios.

Tabela 3 – Parâmetros para os diferentes tipos de solo.

Material Granular	MR (Mpa)	Massa Espec. (g/cm ³)	k1	k2	k3	k4
Solo Areno-argiloso LG'(2)	248	1,8	0,453	-0,186	1,084	0,058
Solo Brita - M3 (LG' s:1521)	398	2,38	0,27	-0,14	1,33	0,06

Fonte: O Autor, (2023).

Para as camadas de revestimento foram selecionados 4 tipos diferentes de misturas asfálticas no intuito de obter uma maior variação nos dados para as simulações, de modo que se possa apresentar um tipo de revestimento asfáltico mais próximo do ideal para estas condições. O *software* MeDiNa categoriza três tipos diferentes de materiais para as camadas de revestimento asfáltico, sendo elas: Concreto Asfáltico; Concreto Asfáltico Borracha (mistura acrescida de material borrachudo para obtenção de um pavimento mais resistente); Concreto Asfáltico Modificado (mistura acrescida de polímero ou material semelhante que também forneça para o pavimento uma maior resistência). Assim, para as simulações deste estudo, serão realizados com 4 tipos diferentes de camadas de revestimento, sendo elas:

- Concreto asfáltico – foi utilizada mistura CAP 50/70 (Marshall) indicada nos ensaios realizados por Cavalcante (2016) por se tratar de um material comum, que possa ser aplicável em diversas situações;
- Concreto asfáltico reciclado – sendo utilizado a mistura MAQ 30% *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) descrita por Carvalho (2022), que utiliza 30% de material reciclado em sua mistura;
- Concreto asfalto borracha – foi utilizado o material disponível no banco de dados do próprio *software* MeDiNa, sendo este o CAPFLEX B PG 64-22;
- Concreto asfáltico modificado – de modo semelhante, também foi escolhido uma mistura asfáltica presente no banco de dados do *software* MeDiNa, sendo este o RJ CAPFLEX 65/90 SBS PG 70-22.

As propriedades das misturas selecionadas para dimensionamento, sejam eles encontrados em literatura ou do próprio banco de dados do MeDiNa, estão dispostos na Tabela 04. Os valores de K1 e K2 são parâmetros referentes a curva de fadiga da mistura asfáltica.

Tabela 4 – Parâmetros para os diferentes tipos de misturas asfálticas.

Mistura Asfáltica	MR (Mpa)	K1	K2	Massa Esp. (g/cm ³)
CAP 50/70 (Marshall)	7150,83	5,00E ⁻¹²	-3,395	2,4116
MAQ 30% RAP	8540	2,0E ⁻⁹	-2,997	2,5150
CAPFLEX B PG 64-22	4980	4,0E ⁻¹²	-3,654	2,4000
RJ CAPFLEX 65/90 SBS PG 70-22	3184	3,0E ⁻¹¹	-3,535	2,4000

Fonte: O Autor, (2023).

De posse dos dados das camadas, realizou-se as simulações no *software* para cada combinação de solo com mistura asfáltica de revestimento. A Figura 56 apresenta o modelo de interface do MeDiNa para as simulações.

Figura 56 – Interface do software MeDiNa para a primeira simulação com subleito A-2-4.

The screenshot displays the MeDiNa software interface. At the top, there is a button labeled 'Alterar Estrutura >>'. Below it is a table with the following columns: CAMADA, DESCRIÇÃO DO MATERIAL, TIPO, ESPESSURA (cm), MÓDULO (MPa), and COEFICIENTE DE POISSON. The table contains five rows of data for different pavement layers. Below the table, there are two main sections: 'EIXO PADRÃO RODoviÁRIO' and 'DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO'. The 'EIXO PADRÃO RODoviÁRIO' section includes 'DADOS DO TRÁFEGO' with various input parameters like 'Tipo de Via', 'VMD', 'FV', 'N anual', etc. The 'DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO' section provides output results such as 'Nível de confiabilidade da análise: 85%', 'Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 21,8%', and 'Afundamento de Trilha de Roda: 8,7mm'.

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	MAQ 30% RAP (Jeovanessa)	5,0	8540	0,30
2	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
3	MATERIAL GRANULAR	Solo Brita - M3 (LG' s:1521)	20,0	398	0,35
SL	SUBLEITO	A - 2 - 4	0,0	111	0,45

EIXO PADRÃO RODoviÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via: Sistema Arterial Primário

VMD (1º ano): 1425

FV: 1,000

N anual (1º ano): 5,20e+05

% Veículos na faixa de projeto: 100

N Anual da faixa: 5,20e+05

Taxa de crescimento (%): 0,0

Período de projeto (anos): 10

N Total: 5,20e+06

N anual (1º ano):
Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano)

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%

Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 21,8%

Análise encerrou por haver atingido a espessura mínima da camada.

Afundamento de Trilha de Roda: 8,7mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Fonte: O Autor, (2023).

A simulação oferece como resultado a espessura da camada de revestimento asfáltico necessário para atender as solicitações de tráfego impostas, bem como uma estimativa da área trincada no pavimento ao fim de sua vida útil (10 anos para o caso deste estudo) e o defeito afundamento de trilha de roda, em mm, até também o sua vida útil. As simulações ocorreram com os dados das camadas disponibilizadas e seus respectivos valores de MR, entretanto, também foi realizada as mesmas análises, para cada tipo de solo, subtraindo o desvio padrão (DP) da média dos valores de MR, com o intuito de obter um coeficiente de segurança maior. A Tabela 05 apresenta o resultado dos dados coletados através das simulações pelo MeDiNa.

Tabela 5 – Resultados das simulações para cada combinação de subleito e revestimento asfáltico.

A-2-4				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	13,2 cm	9,4 cm	8,8 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	29,90%	29,20%	29,50%	21,80%
Afundamento Trilha de Roda	3,5 mm	6,2 mm	7,5 mm	8,7 mm
A-2-6				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	13,8 cm	9,7 cm	9,2 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	28,10%	28,70%	28,70%	22,30%
Afundamento Trilha de Roda	3,2 mm	5,9 mm	7,2 mm	8,6 mm
A-4				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	13,8 cm	9,7 cm	8,8 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	29,40%	29,00%	29,80%	21,70%
Afundamento Trilha de Roda	3,6 mm	6,7 mm	8,4 mm	9,6 mm
A-6				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	13,9 cm	9,7 cm	8,8 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	28,80%	28,80%	29,70%	21,60%
Afundamento Trilha de Roda	3,6 mm	6,7 mm	8,4 mm	9,6 mm

Fonte: O Autor, (2023).

A mistura asfáltica utilizando material reciclado (MAQ 30% RAP) com teor de 30% apresentou a menor camada de pavimentação para todas as combinações de subleito com o valor médio de MR, sendo uma camada com 5 cm de espessura, o que pode ser atribuído a alta rigidez do material em consideração ao teor de RAP empregado. Ressalta-se que uma camada com 5 cm de espessura é o mínimo considerado para uma camada de revestimento pelo MeDiNa.

O revestimento modificado com polímero (CAPLEX 65-90) apresentou uma média da espessura da camada de revestimento de 8,9 cm, sendo o único valor discrepando atribuído para o subleito A-2-6. Este fato ocorre pois as camadas de subleitos A-4 e A-6, embora sejam estruturalmente menos resistentes, recebem uma camada de reforço do subleito A-2-4 de 40 cm por projeto e também foi considerado para as simulações no MeDiNa.

O pavimento acrescido de material borrachoso (concreto asfáltico borracha) apresentou uma média de espessura da camada de revestimento de 9,6 cm enquanto o pavimento comum CAP 50-70 apresentou uma média da camada de espessura de 13,7 cm. As análises quanto área trincada e afundamento de trilha de roda, embora necessitem de mais informações na etapa de simulações como resistência a tração, abrasão Los Angeles, percentual de vazios e teor de umidade, apresentam fatores importantes que indicam possíveis necessidades de manutenção

antecipada e pavimentos suscetíveis a defeitos diversos. A mistura MAQ 30% RAP apresentou os melhores resultados para área trincada em 10 anos de projeto, possuindo um percentual médio de 21,85% para os diferentes tipos de subleitos, embora essa mistura apresente o pior resultado com relação ao afundamento por trilha de roda, chegando a um máximo de 9,6 mm para o pior caso, fato este atribuído a baixa capacidade elástica do material e alta rigidez.

O pavimento executado na rodovia MA-140, tendo espessura total de 8 cm encontra-se em um valor intermediários ao encontrado com as simulações realizadas pelo MeDiNa. Espera-se que a espessura do pavimento dimensionado pelo método DNER-81 tenha valor inferior ao dimensionado pelo MeDiNa, uma vez que pelo método mecanístico-empírico do MeDiNa são considerados mais fatores que influenciam no desempenho do pavimento e defeitos prematuros. Entretanto, a espessura da camada executada, por ser mais elevada que uma camada de revestimento reciclado, como o MAQ 30% RAP, indica que o projeto executado possa ter sido superdimensionado, haja visto que as visitas para encontrar o VDM da rodovia ocorreram por apenas 48 horas, não havendo, por tanto, grande precisão nos dados obtidos.

O mesmo processo de simulação foi realizado considerando um cenário de maior segurança para o dimensionamento, ao subtrair o valor do desvio padrão de todos os valores de ISC médio, como apresentado pela equação a seguir, de modo a superdimensionar as camadas de pavimento, garantindo um coeficiente de segurança mais elevado. A Equação 08 demonstra a obtenção do valor de MR_{DP} .

$$MR_{DP} = MR - DP \quad (8)$$

Deste modo, os valores obtidos para o MR_{DP} estão dispostos na Tabela 06.

Tabela 6 – Valores do desvio padrão e MR – DP para cada tipos de solo.

H.R.B.	Desvio Padrão (Mpa)	MR (Mpa) - DP
A-2-4	9,42	93,9
A-2-6	8,08	85,1
A-4	7,57	81,7
A-6	8,56	88,2

Fonte: O Autor, (2023).

As simulações para os novos valores de MR foram realizados de forma análoga às primeiras simulações no MeDiNa. Os resultados estão expressos na Tabela 07.

Tabela 7 – Resultados das simulações para cada combinação de subleito e revestimento asfáltico para os valores de MR_{DP} .

A-2-4				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	13,8 cm	10,0 cm	9,4 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	28,80%	28,00%	28,60%	23,00%
Afundamento Trilha de Roda	3,2 mm	5,7 mm	7,0 mm	8,6 mm
A-2-6				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	13,8 cm	10,0 cm	9,4 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	29,80%	29,00%	29,50%	23,10%
Afundamento Trilha de Roda	3,0 mm	5,5 mm	6,9 mm	8,4 mm
A-4				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	14,4 cm	10,0 cm	9,4 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	28,50%	29,30%	29,20%	22,40%
Afundamento Trilha de Roda	3,3mm	6,3 mm	7,8 mm	9,4 mm
A-6				
	CAP 50-70	CAPLEX B PG 64-22	CAPLEX 65-90	MAQ 30% RAP
Esp. Camada Rev.	14,4 cm	10,0 cm	9,4 cm	5,0 cm
Área Trincada (10 anos)	28,10%	29,00%	28,90%	22,30%
Afundamento Trilha de Roda	3,3 mm	6,3 mm	7,8 mm	9,4 mm

Fonte: O Autor, (2023).

Para as camadas de revestimento com mistura MAQ 30% RAP não houve mudanças na estrutura do pavimento por conta da alteração dos valores de MR das camadas de subleito, uma vez que, esta mistura possui uma alta rigidez, se provando uma boa solução para a pavimentação do trecho.

Entretanto, houveram mudanças para os outros 3 tipos de misturas utilizadas para a camadaa de revestimento asfáltico, onde:

- CAP 50-70 – passou a ter uma média de espessura da camada de 14,1 cm (aumento de 0,4 cm), sendo o valor de 13,8 cm equivalente para os subleitos de melhor qualidade – A-2-4 e A-2-6 – e o valor de 14,4 cm para ambos os subleitos de pior qualidade;
- CAPLEX B PG 64-22 – obteve média de espessura da camada de 10,0 cm (aumento de 0,4 cm), sendo que este valor se repetiu para todas as combinações de subleito;
- CAPLEX 65-90 – obteve média de espessura da camada de 9,4 cm (aumento de 0,5), onde, mais uma vez, este valor se repetiu para todas as combinações de camadas do subleito.

Não houve mudanças significativas para a expectativa de área trincada após o tempo de vida útil do pavimento (10 anos), onde houve aumento dessa área para a maioria dos casos. Já para o afundamento de trilha de roda ocorreu um decréscimo para os valores com MR_{DP} , que está relacionado com o aumento das espessuras das camadas de revestimento asfáltico, uma vez que maiores espessuras absorvem maior valor de tensão devido ao tráfego de veículos, de modo a transmitir menores cargas para as camadas de base e sub-base, que, por consequência, deformam menos e diminuem o efeito de afundamento de trilha de roda.

6.5 Dedução e avaliação dos custos

O projeto disponibilizado pela SINFRA apresenta os valores referentes aos quantitativos de materiais utilizados para execução das camadas de pavimento, considerando as camadas de sub-base, base, imprimação, pintura asfáltica, binder e de rolamento. Os valores estão dispostos na Tabela 08.

Tabela 8 – Valores quantitativos informados pela SINFRA para cada camada.

Item	Discriminação	Unid.	Quant.
1	Sub-base solo estabilizado granulometricamente sem mistura	m ³	202.073,18
2	Base estab. granul. c/mist. solo areia na pista AC (90/10%)	m ³	147.069,93
3	Imprimação	m ²	755.360,79
4	Pintura de ligação	m ²	490.135,09
5	CBUQ - capa de rolamento AC/BC	t	46.666,80
6	CBUQ - "binder" AC/BC	t	72.128,47

Fonte: O Autor, (2023).

Para as camadas de sub-base e base, bem como imprimação e pintura de ligação foram utilizadas as mesmas quantidades para criação do orçamento, sendo alteradas apenas as camadas de revestimento asfáltico das novas misturas simuladas com suas respectivas espessuras. O orçamento foi realizado para somente as camadas de pavimentos que consideram o valor de MR decrescido do desvio padrão, por considerar o pior cenário tanto estrutural quanto financeiro.

Considerando a largura da pista de rolamento como 7 m acrescidos de 2 m em cada lateral para acostamento, foi calculado o volume de material utilizado para pavimentação do trecho total da via (65,4 km). Para os casos onde a camada de revestimento asfáltico possui mais de 8 cm em sua estrutura total, foi adotado a pavimentação em duas camadas, uma binder

e uma capa de rolamento, assim como no projeto fornecido pela SINFRA para o revestimento utilizado no trecho. Já para os casos com menos que 8 cm, foi adotado uma única camada de revestimento. Os volumes para cada tipo de revestimento asfáltico estão descrito pela Tabela 09.

Tabela 9 – Quantitativo de m³ de material para cada combinação de pavimento e tipo de solo para subleito.

CAP 50-70				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Espessura total	13,8	13,8	14,4	14,4
Camada binder (esp. cm)	10	10	10	10
Volume binder (m ³)	71940	71940	71940	71940
Camada rolamento (esp. cm)	3,8	3,8	4,4	4,4
Volume rolamento (m ³)	27337,2	27337,2	31653,6	31653,6
CAPLEX B PG 64-22				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Espessura total	10	10	10	10
Camada binder (esp. cm)	5	5	5	5
Volume binder (m ³)	35970	35970	35970	35970
Camada rolamento (esp. cm)	5	5	5	5
Volume rolamento (m ³)	35970	35970	35970	35970
CAPLEX 65-90				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Espessura total	9,4	9,4	9,4	9,4
Camada binder (esp. cm)	5	5	5	5
Volume binder (m ³)	35970	35970	35970	35970
Camada rolamento (esp. cm)	5	5	5	5
Volume rolamento (m ³)	35970	35970	35970	35970
MAQ 30% RAP				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Espessura total	5	5	5	5
Camada binder (esp. cm)	5	5	5	5
Volume binder (m ³)	35970	35970	35970	35970
Camada rolamento (esp. cm)	-	-	-	-
Volume rolamento (m ³)	-	-	-	-

Fonte: O Autor, (2023).

O Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) estabelece os dados necessários para realizar orçamentos de obras e serviços no DNIT, e foi utilizado para estabelecer o custo unitário para usinagem de cada tipo de pavimento, bem como as camadas inferiores neste estudo. Foram orçados somente os custos de usinagem, escavações, carga e descarga e compactação dos serviços para as camadas, de modo a simplificar a análise e, também, por uma falta de informações sobre a empreiteira responsável pela execução da obra, bem como suas

necessidades e custos adicionais. A composição dos custos selecionadas para precificar as camadas da estrutura do pavimento está descrita pela Tabela 10, tendo sua composição de custos para cada item apresentada pelo Anexo C.

Tabela 10 – Custos unitário para as camadas de revestimento.

Código	Descrição	Unidade	Custo Unitário (R\$)
4011227	Sub-base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida	m ³	10,67
4011268	Base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial	m ³	81,98
4011352	Imprimação com emulsão asfáltica	m ²	0,38
4011353	Pintura de ligação	m ²	0,26
6416143	Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais	t	162,45
4011459	Concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais	t	183,1
4011463	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	t	181,04
4011461	Concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa B - areia e brita comerciais	t	183,61
4011466	Concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa C - areia e brita comerciais	t	185,64
4011470	Concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial	t	223,29
4011471	Concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial	t	223,64
4011478	Concreto asfáltico reciclado em usina com adição de asfalto - brita comercial	t	164,08

Fonte: Adaptado de SICRO-MA, (2023).

Foram analisados os custos unitários dados em toneladas com base no peso específico de cada material utilizado nas camadas. Os subleitos A-4 e A-6, por definição do projeto elaborado pela SINFRA, necessita de um reforço do subleito de 40 cm com solo A-2-4, que também foi considerado para os custos totais. Deste modo, a Tabela 11 à Tabela 14 apresentam os custos totais da estrutura de pavimentação para cada tipo de solo.

Tabela 11 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CAP 50-70.

CAP 50-70				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Peso Específico (t/m ³)	2,4116			
Volume Camada binder (t)	173.490,50	173.490,50	173.490,50	173.490,50
Volume Camada rolamento	65.926,39	65.926,39	76.335,82	76.335,82
Custo Unitário Concreto Asfáltico "faixa B" (R\$/t)	183,1			
Custo Unitário Concreto Asfáltico "faixa C" (R\$/t)	181,04			
Custo total camada binder	31.766.111,28	31.766.111,28	31.766.111,28	31.766.111,28
Custo total camada rolamento	11.935.313,92	11.935.313,92	13.819.837,17	13.819.837,17

Fonte: O Autor, (2023).

Tabela 12 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CAPLEX B PG 64-22.

CAPLEX B PG 64-22				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Peso Específico (t/m ³)	2,4			
Volume Camada binder (t)	86.328,00	86.328,00	86.328,00	86.328,00
Volume Camada rolamento	86.328,00	86.328,00	86.328,00	86.328,00
Custo Unitário Concreto Asfáltico modificado com borracha "faixa B" (R\$/t)	223,29			
Custo Unitário Concreto Asfáltico modificado com borracha "faixa C" (R\$/t)	223,64			
Custo total camada binder (R\$)	19.276.179,12	19.276.179,12	19.276.179,12	19.276.179,12
Custo total camada rolamento (R\$)	19.306.393,92	19.306.393,92	19.306.393,92	19.306.393,92

Fonte: O Autor, (2023).

Tabela 13 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CAPLEX 65-90.

CAPLEX 65-90				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Peso Específico (t/m ³)	2,4			
Volume Camada binder (t)	86.328,00	86.328,00	86.328,00	86.328,00
Volume Camada rolamento	86.328,00	86.328,00	86.328,00	86.328,00
Custo Unitário Concreto Asfáltico modificado com polímero "faixa B" (R\$/t)	183,61			
Custo Unitário Concreto Asfáltico modificado com polímero "faixa C" (R\$/t)	185,64			
Custo total camada binder (R\$)	15.850.684,08	15.850.684,08	15.850.684,08	15.850.684,08
Custo total camada rolamento (R\$)	16.025.929,92	16.025.929,92	16.025.929,92	16.025.929,92

Fonte: O Autor, (2023).

Tabela 14 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento MAQ 30% RAP.

MAQ 30% RAP				
	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6
Peso Específico (t/m ³)			2,515	
Volume Camada binder (t)	90.464,55	90.464,55	90.464,55	90.464,55
Volume Camada rolamento	-	-	-	-
Custo Unitário Concreto Asfáltico Reciclado (R\$/t)			164,08	
Custo total camada binder (R\$)	14.843.423,36	14.843.423,36	14.843.423,36	14.843.423,36
Custo total camada rolamento (R\$)	-	-	-	-

Fonte: O Autor, (2023).

Tabela 15 – Custos total para as camadas de revestimento asfáltico para o pavimento CBUQ indicado por projeto da SINFRA.

CBUQ de projeto SINFRA	
Custo Unitário Concreto Asfáltico "faixa B" (R\$/t)	183,1
Custo Unitário Concreto Asfáltico "faixa C" (R\$/t)	181,04
Custo total camada binder (R\$)	13.206.722,86
Custo total camada rolamento (R\$)	8.448.557,47

Fonte: O Autor, (2023).

Para determinar o custo da camada de reforço do subleito (camada de 40 cm de reforço sobre o subleito utilizando o solo A-2-4), que somente é utilizada para o subleito A-4 e A-6, foi levantado com base no número dos furos do projeto que estes dois solos correspondem a 54% do trecho total de 65,4 km, sendo assim possível calcular o volume total de material de reforço do subleito utilizado. A Tabela 15 apresenta os custos para as camadas de reforço do subleito, sub-base, base, imprimação e pintura de ligação, conforme os quantitativos apresentados pela SINFRA.

Tabela 16 – Custos totais e por quilômetro para as camadas de reforço do subleito, sub-base, base, imprimação e pintura de ligação.

	Reforço do subleito com A-2-4	Solo Brita - M3 (LG's:1521)	Solo Arenoso LG'(2)	Imprimação	Pintura de Ligação
Custo unitário (R\$/m ³)	10,67	10,67	81,98	-	
Custo unitário (R\$/m ²)	-	-	-	0,38	0,26
Volume (m ³)	177.286,32	202.073,18	147.069,93	-	-
Área (m ²)	-	-	-	755.360,79	490.135,09
Valor total (R\$)	1.891.645,03	2.156.120,83	12.056.792,86	287.037,10	127.435,12
Valor Total trecho (65,4 km)			R\$ 16.519.030,95		
Custo total por km			R\$ 252.584,57		

Fonte: O Autor, (2023).

Observa-se que para o projeto executado foi selecionado um material arenoso para a camada de base, que poderia ser substituída por um material de melhor qualidade como a Brita Graduada Tratada Simples (BGTS), que apresenta uma melhor resistência as solicitações impostas pelo tráfego de veículos, o que implicaria em uma possível redução da camada de pavimento asfáltico ou mesmo da própria camada de base.

Também é possível calcular o custo por quilômetro para cada tipo de pavimentação utilizada nas simulações, de modo a obter uma melhor análise financeira visto que a camada de revestimento asfáltico é a mais onerosa de um projeto de pavimentação. A Tabela 16 apresenta os custos por quilômetro para cada tipo de revestimento, considerando a média dos valores em relação as espessuras de cada camada para todos os tipos de subleito utilizados.

Tabela 17 – Custo por quilômetro para cada tipo de pavimentação.

Custo médio por Km	
CBUQ utilizado no projeto (R\$/km)	331.120,49
CAP 50-70 (R\$/km)	341.312,59
CAPLEX B PG 64-22 (R\$/km)	294.973,80
CAPLEX 65-90 (R\$/km)	243.705,00
MAQ 30% RAP (R\$/km)	226.963,66

Fonte: O Autor, (2023).

Com base nos custos médios, considera-se que há opções mais vantajosas para a execução da pavimentação do trecho da MA-140 em relação ao que foi executado. O pavimento executado com MAQ 30% RAP apresentou o melhor custo benefício, considerando ainda que

este atende os requisitos para as simulações realizadas com o MeDiNa e está de acordo com os novos modelos de dimensionamento. De modo semelhante, os demais modelos também apresentaram custos mais satisfatórios em relação ao CBUQ indicado para o projeto. Vale ressaltar que o projeto disponibilizado pela SINFRA não corresponde necessariamente ao executado, cabendo a empreiteira responsável pela execução decidir os melhores parâmetros para o pavimento, como materiais e equipamentos, o que pode reduzir os custos de implantação.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através do método PCI demonstraram a precariedade de determinadas seções avaliadas, embora o trecho completo de análise tenha apresentado uma média satisfatória. O valor baixo do PCI em algumas seções indicam falhas no dimensionamento ou execução do pavimento, considerando ainda a pouca idade de utilização do pavimento desde sua construção. Os defeitos mais encontrados foram desgaste e trincas por fadiga (couro de jacaré), resultantes principalmente de fadiga nos pavimentos, onde tal fator não é considerado no método de dimensionamento DNER-81.

Deste modo, havendo a necessidade de realizar reparos parciais ou totais, considera-se que tanto o tempo estipulado de vida de projeto para o trecho não será atendido, quanto o custo de pavimentação por quilômetro sofrerá aumento por conta dos reparos necessários, o que implica na ineficiência do método de dimensionamento do pavimento utilizado.

Com base nos resultados das simulações através do *software* MeDiNa, afirma-se que há uma defasagem do método DNER-81 utilizado no dimensionamento da rodovia, uma vez que as camadas de revestimento asfáltico das simulações pelo MeDiNa obtiveram valores de espessura maiores que a espessura indicada para execução da MA-140, mesmo para os casos de pavimentos modificados com polímero ou borracha.

As análises através do MeDiNa permitem a simulação prática com diversas combinações de camadas para o atendimento às solicitações de tráfego impostas. Deste modo, o MeDiNa demonstra uma vantagem em relação ao DNER-81, além de, em suas simulações, o MeDiNa considerar uma maior gama de fatores para o dimensionamento e também, ao final, fornece uma análise dos dados referentes às áreas defeituosas, que não é previsto pelo método DNER-81.

O orçamento financeiro para comparação dos custos de execução do pavimento executado na MA-140 com relação às diferentes combinações de simulações de pavimentos pelo MeDiNa permitem avaliar de forma mais precisa os gastos com usinagem e execução destes pavimentos, onde foi possível reduzir consideravelmente o custo de execução com a escolha de outro tipo de mistura asfáltica utilizada na camada de revestimento, em especial, com a escolha de uma mistura com adição de material reciclado.

Conclui-se que a utilização do MeDiNa torna o processo de dimensionamento dos pavimentos mais prático, onde foi possível avaliar o uso destas diversas misturas asfálticas para o caso da MA-140. Além do retorno financeiro com a melhor avaliação do custo benefício de diferentes misturas asfálticas.

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS:

- Sugere-se a realização de ensaios mais específicos para o trecho da MA-140, como ensaios de carga axial, resistência a tração e fadiga, de modo a conhecer melhor as propriedades da mistura asfáltica utilizada na execução do trecho e avaliar seus parâmetros como, também, os utilizados para o MeDiNa, no intuito de avaliar se atenderiam as solicitações de tráfego da via e o tempo de vida útil do pavimento;
- Realizar um novo levantamento para o VDM e encontrar um valor de N_{total} mais adequado, visto que para o projeto da SINFRA, toda a coleta de dados para o trecho da rodovia foi realizado em 48 horas, o que compromete a confiabilidade dos dados obtidos;
- Realizar o orçamento comparativo das simulações através do MeDiNa para com o projeto executado na MA-140 através de um levantamento dos materiais (agregados) disponíveis localmente utilizados na execução da obra;
- Sugere-se ainda, realizar um aprimoramento à análise pelo PCI adicionando outros métodos e ensaios de superfície, como ensaio de pêndulo britânico, ensaio de mancha de areia e levantamento deflectômetro por viga benkelman ou *Falling Weight Deflectometer* (FWD) para averiguar a real condição de qualidade do pavimento da MA-140.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, Henrique. Matriz de transportes do Brasil à espera dos investimentos. **ILOS: Especialista em Logística e Supply Chain**, 2020.
- ASTM D5340-12. Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. American Society for Testing Materials, U.S.A. 2012.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto, e restauração**. Oficina de Textos, 2007.
- BERBEL, M. F. **Aplicação do método do PCI-Paviment Conditions Index: para determinação de serviços de restauração e manutenção em um trecho da Avenida Tupi de Pato Branco-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
- BERNUCCI, Liedi Légi Bariani; MOURA, Edson de; LEITE, Leni Mathias. Efeitos do uso de asfaltos modificados nas propriedades mecânicas dos revestimentos asfálticos. **Anais: RODO 2002**, 2002.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ABEDA, 2006.
- BERNUCCI, Liedi Légi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 2008.
- BIEDACHA, Marina Myszak. **Dimensionamento de pavimento asfáltico pelo método DNER e comparativo com o atual método mecanístico-empírico MeDiNa**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.
- BOEIRA, Fernando Dekeper et al. Projeto e implementação de ensaio de fadiga por tração-compressão direta (uniaxial) para avaliação de dano em misturas asfálticas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, p. e12148, 2018.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. **Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação**. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. **Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006a.
- BRASIL. Ministério da Economia, Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade, Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura ; Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) ; **Infrastructure and Projects Authority do Reino Unido (IPA-UK)**. -- Brasília : SDI/SEPEC/ Ministério da Economia, 2020.
- CARVALHO, Jeovanesa Régis et al. **Avaliação de diferentes tecnologias de misturas asfálticas mornas com a incorporação de elevadas quantidades de material fresado**. Campina Grande, 2022.

CAVALCANTE, Fabiano Pereira et al. **Efeito da adição dos óleos de *Ricinus communis* e *Linus usitatissimum* nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo puro e modificado.** Campina Grande, 2016.

CHIARELLO, Gabriéli Pires et al. Avaliação estrutural e financeira de pavimento flexível dimensionado pelo método do DNER (1981) e Medina (2019): estudo de caso da duplicação da BR 287-trecho Santa Cruz Do Sul à Tabai/RS. In: **33 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da Anpet.** 2019.

DE BARROS, Pedro Henrique Batista; BAGGIO, Isadora Salvalaggio. **Uma análise espacial da malha rodoviária brasileira: relações com o desenvolvimento econômico regional.**

CNT. **Transporte Rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Confederação Nacional do Transporte, 2017. Disponível em: < <http://anut.org/wp-content/uploads/2017/10/Pavimentos.pdf> >. Acesso em: 22 ago. de 2023.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 667/22. **Método de projeto de pavimentos flexíveis.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1981.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. “**DNIT ME 135 – MODULO DE RESILIÊNCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL**”. Rio de Janeiro, 2018.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. “**DNIT ME 136 – MISTURAS ASFÁLTICAS – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL**”. Rio de Janeiro, 2018.

DOMINGOS, A. S. M. **Determinação e interpretação do índice PCI de pavimentos aeroportuários.** Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior (Portugal), 2017.

FARIAS, F. **Condições precárias para escoamento da safra do Maranhão.** Canal Rural, 2016. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/produtores-do-maranhao-bancam-manutencao-de-rodovia/>. Acesso em: 15 de setembro de 2023.

FONTENELE, Heliana Barbosa; ZANUNCIO, Carlos Eduardo Magron; DA SILVA JUNIOR, Carlos Alberto Prado. O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito Truck overload and its effects. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v. 18, p. 95-103, 2011.

FONTES, Liseane PTL. **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos.** 2009.

FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecânico empírico de pavimentos asfálticos – SisPav.** 2007. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

FRITZEN, Marcos Antonio. **Desenvolvimento e validação de função de transferência para previsão do dano por fadiga em pavimentos asfálticos.** Marcos Antonio Fritzen–Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. O diagnóstico e a manutenção dos pavimentos. **Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo**, 1999. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência dos Materiais. Volume 1. Editora: IBRACON, 2007.

HUGHES, Lucas Oliveira; FIGUEIREDO, Vitor Lemos; CRUZ, Zoraide Vieira. **Aplicação de Whitetopping Tradicional para Recuperação de Rodovias**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 2, Vol. 15. pp 05-20., janeiro de 2017. ISSN: 2448-0959.

KNABBEN, Ramon Mendes; CARPIO, Joe Arnaldo Villena del. **Como usar o software MeDiNa: o guia prático para utilização do software medina de dimensionamento de pavimentos flexíveis**. Santa Catarina, 2020. E-book. Disponível em: < www.metodomedina.com.br/ >. Acesso em: 22 de set. de 2023.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos Pavimentos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 3ª ed. 2015.

Pesquisa CNT de rodovias 2021. – Brasília : CNT : SEST SENAT, 2021.

PINTO, Salomão. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1991.

RAMOS, Joana Pinheiro Fuchs et al. **Estudo comparativo entre métodos de reabilitação de pavimentos flexíveis-MEPDG E MeDiNa**. 2021.

SALVIANO, Willian Renan de Araújo. **Análise do Controle Construtivo de um Pavimento Semirrígido por Deflexão**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

SANTARÉM, Sara dos Santos; RODRIGUES, Fabrício de Amorim; GONZAGA, Suelânia Cristina de Figueiredo. **Engenharia Civil: Inovação e tecnologia no contexto da era contemporânea** – Volume 1. Belo Horizonte – MG: Poisson, 2022.

SENÇO, Wlastemiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

SHAHIN, Mohamed Y. **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots**. 2nd Edition. Chapman & Hall, New York. 2005.

SHAIN, Mohamed Y.; KHON, Starr D. **Development of a pavement condition rating procedure for roads, streets and parking lot**. Distress Identification Manual. CERL-TR-M-268, U.S. Army, 1979, v. 2.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. ed. São Paulo, 2008.

SOUZA, Murillo Lopes de. Método de projeto de pavimentos flexíveis. **IPR Publ**, v. 667, n. 3, p. 97, 1981.

ANEXO A – Modelo de planilha de inspeção de campo pelo Método do PCI

PLANILHA DE INSPEÇÃO DE CAMPO			
Via:		Seção:	
Data:		Amostra n°:	
Avaliador:		Área da amostra:	
Tipo de Defeitos			
1 Couro de Jacaré	Área	11 Remendos	Área
2 Exsudação	Área	12 Agregados Polidos	Área
3 Fissuras em blocos	Área	13 Painelas	Unid.
4 Elevações Recalques	Metro	14 Cruzamento Ferroviário	Área
5 Corrugação	Área	15 Afundamento de Trilho de Roda	Área
6 Afundamento Localizado	Área	16 Escorregamento de Massa	Área
7 Fissuras de Borda	Metro	17 Fissuras Devido ao Escorregamento de Massa	Área
8 Fissuras por Reflexão de Juntas	Metro	18 Inchamento	Área
9 Desnível de Pavimento/ Acostamento	Metro	19 Desgaste	Área
10 Fissuras Longitudinal e Transversal	Metro		
		PANELAS	
		Diâmetro Médio (cm)	
		PROF.	10 a 20
		1,2 a 2,5	B
		>2,5 a 5,0	B
		>5,0	M
		20 a 45	M
		45 a 76	A
		B	M
		M	A

ANEXO B – Modelo de planilha de cálculo do valor do PCI

PLANILHA DE CALCULO DO VALOR DO PCI															
Via:							Seção:								
Data:							Amostra nº:								
Avaliador:							Área da Amostra:								
Tipos de Defeitos															
1	Couro de Jacaré	11	Remendos	Esboço:											
2	Exsudação	12	Agregados Polidos												
3	Fissuras em blocos	13	Panelas												
4	Elevações Recalques	14	Cruzamento Ferroviário												
5	Corrugação	15	Afundamento de Trilho de Roda												
6	Afundamento Localizado	16	Escorregamento de Massa												
7	Fissuras de Borda	17	Fissuras Devido ao Escorregamento de Massa												
8	Fissuras por Reflexão de Juntas	18	Inchamento												
9	Desnível de Pavimento/ Acostamento	19	Desgaste												
10	Fissuras Longitudinal e Transversal														
Tipos de Defeitos Existentes															
Área/ Extensão	Severidade														
Severidade	B														
	M														
	A														
Cálculo do PCI															
Tipo de Defeito	Densidade	Severidade	Valor de dedução	PCI = 100 – VDC Condições do Pavimento:											
Total de Dedução (VTD)															
Valor de Dedução Corrigido (VDC)															

ANEXO C – Composição de custos unitários (SICRO-MA)

Figura 57 - Sub-base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,02663			
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe 120,70 m³			
4011268 Base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial						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 kW	1,00000	0,36	0,64	293,5031	86,4329	160,9782
E9514	Distribuidor de agregados sobre pneus autopropelido - 130 kW	1,00000	1,00	0,00	251,0027	98,6989	251,0027
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,69	0,31	234,3059	117,8595	198,2075
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido por pneus de 11,6 t - 82 kW	1,00000	0,72	0,28	192,3126	89,3583	163,4854
					Custo horário total de equipamentos		773,6738
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	1,00000	h	20,3463		20,3463	
				Custo horário total de mão de obra		20,3463	
				Custo horário total de execução		794,0201	
				Custo unitário de execução		6,5785	
				Custo do FIC		0,17520	
				Custo do FIT		-	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
				Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416030	Usinagem de solo brita (70% - 30%) com material de jazida e brita comercial em usina de 300 t/h	1,00000	m³	68,9800		68,9800	
				Custo total de atividades auxiliares		68,9800	
				Subtotal		75,7337	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
6416030	Usinagem de solo brita (70% - 30%) com material de jazida e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m³	5914652	2,06300	t	3,0300		6,2509
				Custo unitário total de tempo fixo		6,2509	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
6416030	Usinagem de solo brita (70% - 30%) com material de jazida e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m³	2,06300	tkm	5914359	5914374	5914389	
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total			81,98

Figura 58 - Base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,00443		
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe 1.038,46 m ²		
4011352 Imprimação com emulsão asfáltica					Valores	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário	
			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	237,3956	
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	2,00000	1,00	0,00	57,0198	
					Custo horário	
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Cu		
P9824	Servente	2,00000	h			
C - MATERIAL		Quan				
M2092	Emulsão asfáltica para imprimação					
D - ATIVIDADES AUXILIARES						
E - TEMPO FIXO						
F - MOMENTO DE TRA						

Figura 59 - Imprimação com emulsão asfáltica.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,00443			
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe 1.500,00 m ²			
4011353 Pintura de ligação					Valores em reais (R\$)		
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	237,3956	76,8050	237,3956
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	2,00000	1,00	0,00	57,0198	38,9487	114,0396
					Custo horário total de equipamentos		351,4352
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	2,00000	h	20,3463		40,6926	
					Custo horário total de mão de obra	40,6926	
					Custo horário total de execução	392,1278	
					Custo unitário de execução	0,2614	
					Custo do FIC	0,00120	
					Custo do FIT	-	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M1946	Emulsão asfáltica - RR-1C	0,00045	t	0,0000		0,0000	
					Custo unitário total de material		
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
					Custo total de atividades auxiliares		
					Subtotal	0,2626	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
					Custo unitário total de tempo fixo		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT		Custo Unitário	
				LN	RP	P	
					Custo unitário total de transporte		
					Custo unitário direto total	0,26	

Figura 60 - Pintura de ligação.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,00443			
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe			
6416143 Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais				99,60 t			
Valores em reais (R\$)							
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário	Custo	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
					Produtivo	Improdutivo	
					Horário	Total	
E9559	Aquecedor de fluido térmico - 12 kW	1,00000	1,00	0,00	68,8650	40,4651	68,8650
E9584	Carregadeira de pneus com capacidade de 1,72 m³ - 113 kW	1,00000	0,81	0,19	183,3275	94,0799	166,3705
E9021	Grupo gerador - 456 kVA	1,00000	1,00	0,00	336,1336	23,7271	336,1336
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	2,00000	1,00	0,00	57,0198	38,9487	114,0396
E9689	Usina de asfalto a quente gravimétrica com capacidade de 100/140 t/h - 260 kW	1,00000	1,00	0,00	1.180,8004	624,7496	1.180,8004
					Custo horário total de equipamentos		1.866,2091
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	4,00000	h	20,3463		81,3852	
					Custo horário total de mão de obra		81,3852
					Custo horário total de execução		1.947,5943
					Custo unitário de execução		19,5542
					Custo do FIC		-
					Custo do FIT		-
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0028	Areia média	0,24214	m³	97,3710		23,5774	
M0005	Brita 0	0,05765	m³	151,0799		8,7098	
M0191	Brita 1	0,17820	m³	140,9257		25,1130	
M0344	Cal hidratada - a granel	51,88000	kg	0,5493		28,4977	
M1943	Cimento asfáltico de petróleo - CAP 50/70	0,05660	t	0,0000		0,0000	
M1941	Óleo tipo A1	8,00000	l	4,6974		37,5792	
M1103	Pedrisco	0,11635	m³	147,8009		17,1966	
					Custo unitário total de material		140,6737
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
					Custo total de atividades auxiliares		
					Subtotal		160,2279
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
M0028	Areia média - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,36321	t	1,5800		0,5739
M0005	Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,08648	t	1,5800		0,1366
M0191	Brita 1 - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,26730	t	1,5800		0,4223
M0344	Cal hidratada - a granel - Caminhão silo 30 m³	5914363	0,05188	t	15,6200		0,8104
M1103	Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,17453	t	1,5800		0,2758
					Custo unitário total de tempo fixo		2,2190
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
M0028	Areia média - Caminhão basculante 10 m³	0,36321	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0005	Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	0,08648	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0191	Brita 1 - Caminhão basculante 10 m³	0,26730	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0344	Cal hidratada - a granel - Caminhão silo 30 m³	0,05188	tkm	5914364	5914365	5914366	
M1103	Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	0,17453	tkm	5914359	5914374	5914389	
					Custo unitário total de transporte		
					Custo unitário direto total		162,45

Figura 61 - Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,00443			
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe			
4011459 Concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais				99,60 t			
Valores em reais (R\$)							
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário	Custo	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
					Produtivo	Improdutivo	
					Horário	Total	
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,71	0,29	234,3059	117,8595	200,5364
E9681	Rolo compactador liso tandem vibratório autopropelido de 10,4 t - 82 kW	1,00000	0,82	0,18	245,9171	97,5270	219,2069
E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000	1,00	0,00	434,9739	207,8479	434,9739
					Custo horário total de equipamentos		854,7172
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8,00000	h	20,3463		162,7704	
					Custo horário total de mão de obra		162,7704
					Custo horário total de execução		1.017,4876
					Custo unitário de execução		10,2157
					Custo do FIC		0,04530
					Custo do FIT		-
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
					Custo unitário total de material		
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416143	Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais	1,02000	t	162,4500		165,6990	
					Custo total de atividades auxiliares		165,6990
					Subtotal		175,9600
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
6416143	Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m³	5914649	1,02000	t	7,0000		7,1400
					Custo unitário total de tempo fixo		7,1400
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
6416143	Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m³	1,02000	tkm	5914359	5914374	5914389	
					Custo unitário total de transporte		
					Custo unitário direto total		183,10

Figura 62 - Concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais.

Figura 63 - Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,00443			
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe 99,60 t			
4011461 Concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa B - areia e brita comerciais						Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total	
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo		
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,71	0,29	234,3059	117,8595	200,5364
E9681	Rolo compactador liso tandem vibratório autopropelido de 10,4 t - 82 kW	1,00000	0,82	0,18	245,9171	97,5270	219,2069
E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000	1,00	0,00	434,9739	207,8479	434,9739
					Custo horário total de equipamentos		854,7172
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total		
P9824	Servente	8,00000	h	20,3463		162,7704	
					Custo horário total de mão de obra		162,7704
					Custo horário total de execução		1.017,4876
					Custo unitário de execução		10,2157
					Custo do FIC		0,04530
					Custo do FIT		-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário		
					Custo unitário total de material		
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário		
6416246	Usinagem de concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa B - areia e brita comerciais	1,02000	t	162,9500		166,2090	
					Custo total de atividades auxiliares		166,2090
					Subtotal		176,4700
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416246	Usinagem de concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa B - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m³	5914649	1,02000	t	7,0000		7,1400
					Custo unitário total de tempo fixo		7,1400
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário	
			LN	RP	P		
6416246	Usinagem de concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa B - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m³	1,02000	tkm	5914359	5914374	5914389	
					Custo unitário total de transporte		
					Custo unitário direto total		183,61

Figura 64 - Concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa B - areia e brita comerciais.

Figura 65 - Concreto asfáltico com asfalto polímero - faixa C - areia e brita comerciais.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,00443			
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe 84,66 t			
4011470 Concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial						Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,60	0,40	234,3059	117,8595	
E9681	Rolo compactador liso tandem vibratório autopropelido de 10,4 t - 82 kW	1,00000	0,69	0,31	245,9171	97,5270	
E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000	1,00	0,00	434,9739	207,8479	
					Custo horário total de equipamentos		
						822,6174	
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8,00000	h	20,3463		162,7704	
				Custo horário total de mão de obra		162,7704	
				Custo horário total de execução		985,3878	
				Custo unitário de execução		11,6394	
				Custo do FIC		0,05160	
				Custo do FIT		-	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
				Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416212	Usinagem de concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial	1,02000	t	199,5800		203,5716	
				Custo total de atividades auxiliares		203,5716	
				Subtotal		215,2626	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		
6416212	Usinagem de concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial - Caminhão basculante 10 m³	5914646	1,02000	t	7,8700		
					Custo unitário total de tempo fixo		
					8,0274		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
6416212	Usinagem de concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial - Caminhão basculante 10 m³	1,02000	tkm	5914359	5914374	5914389	
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total			
				223,29			

Figura 66 - Concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial.

Figura 67 - Concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Maranhão		FIC 0,00443			
Custo Unitário de Referência		Julho/2023		Produção da equipe 99,60 t			
4011478 Concreto asfáltico reciclado em usina com adição de asfalto - brita comercial					Valores em reais (R\$)		
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,71	0,29	234,3059	117,8595	
E9681	Rolo compactador liso tandem vibratório autopropelido de 10,4 t - 82 kW	1,00000	0,82	0,18	245,9171	97,5270	
E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000	1,00	0,00	434,9739	207,8479	
					Custo horário total de equipamentos		
					854,7172		
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8,00000	h	20,3463		162,7704	
					Custo horário total de mão de obra		
					162,7704		
					Custo horário total de execução		
					1.017,4876		
					Custo unitário de execução		
					10,2157		
					Custo do FIC		
					0,04530		
					Custo do FIT		
					-		
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
					Custo unitário total de material		
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416098	Usinagem de concreto asfáltico reciclado em usina fixa com adição de material fresado e brita comercial	1,02000	t	143,8000		146,6760	
					Custo total de atividades auxiliares		
					146,6760		
					Subtotal		
					156,9370		
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		
6416098	Usinagem de concreto asfáltico reciclado em usina fixa com adição de material fresado e brita comercial - Caminhão basculante 10 m³	5914649	1,02000	t	7,0000		
					Custo unitário total de tempo fixo		
					7,1400		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
6416098	Usinagem de concreto asfáltico reciclado em usina fixa com adição de material fresado e brita comercial - Caminhão basculante 10 m³	1,02000	tkm	5914359	5914374	5914389	
					Custo unitário total de transporte		
					164,08		
					Custo unitário direto total		
					164,08		

Figura 68 - Concreto asfáltico reciclado em usina com adição de asfalto - brita comercial.

ANEXO D – Curvas de valores de Deduções (Shahin, 2005)

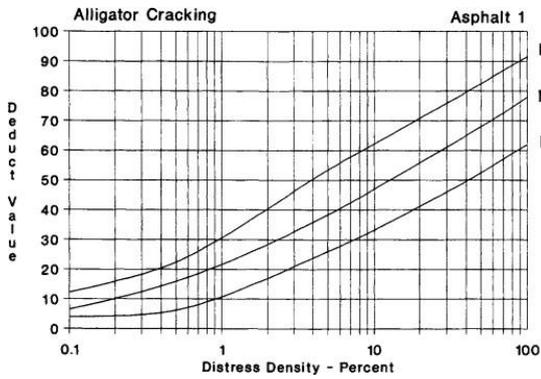


Figura 70 - Dedução para Couro de Jacaré.

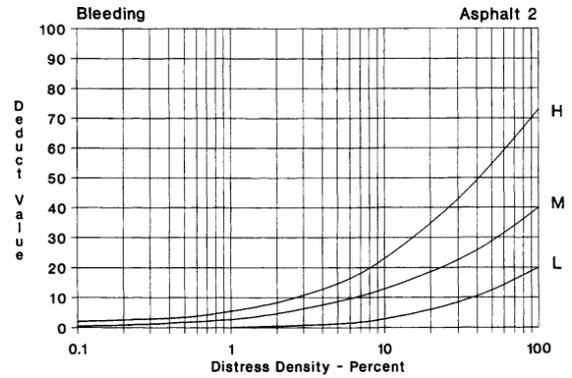


Figura 69 - Dedução para Exsudação.

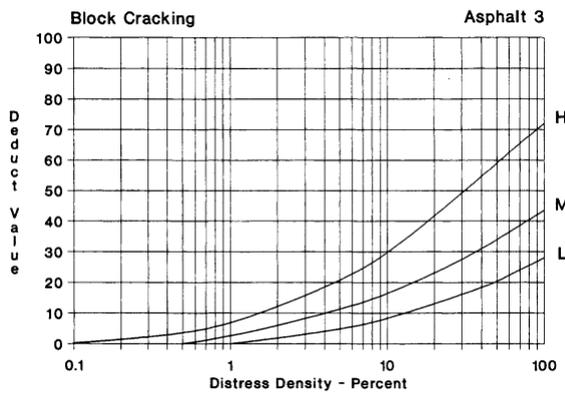


Figura 72 - Dedução para Fissuras em Blocos.

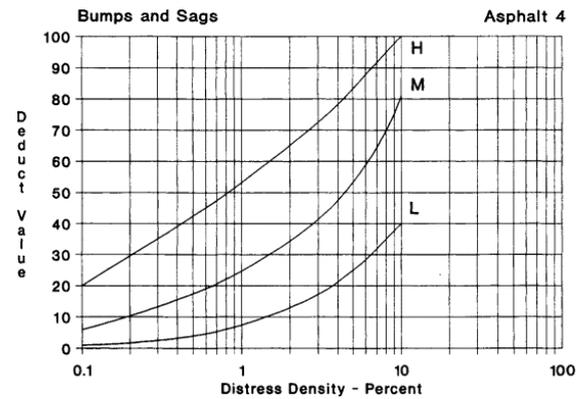


Figura 73 - Dedução para Elevações/Recalques.

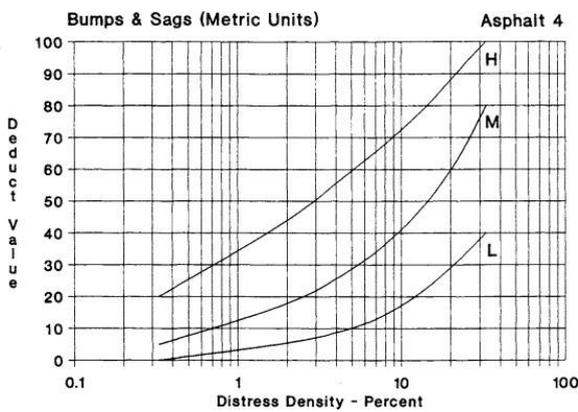


Figura 74 - Dedução para Elevações/Recalques em unidades métricas.

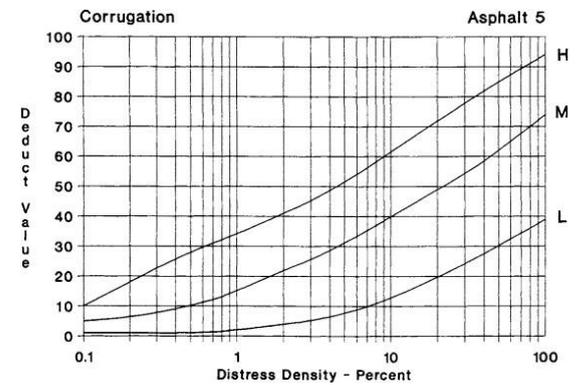


Figura 71 - Dedução para Corrugação.

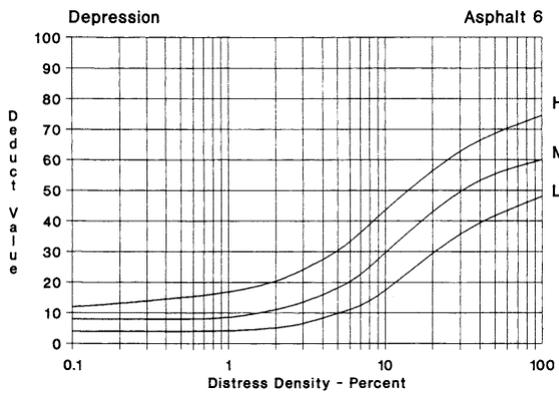


Figura 76 - Dedução para Afundamento Localizado.

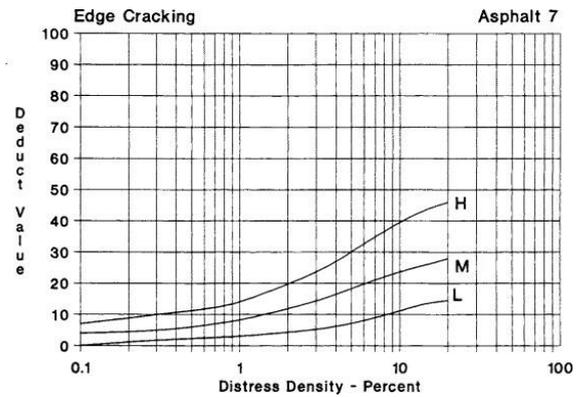


Figura 75 - Dedução para Fissuras de Borda.

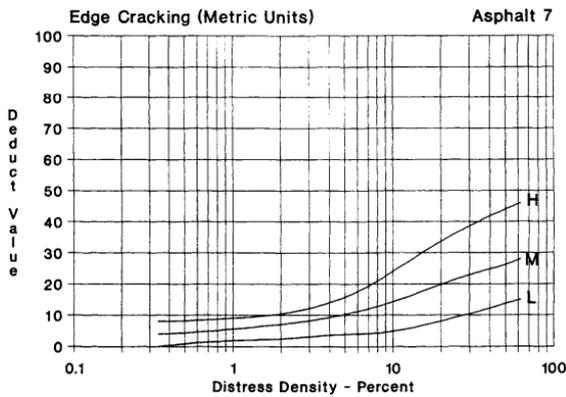


Figura 77 - Dedução para Fissura de Borda por unidade métrica.

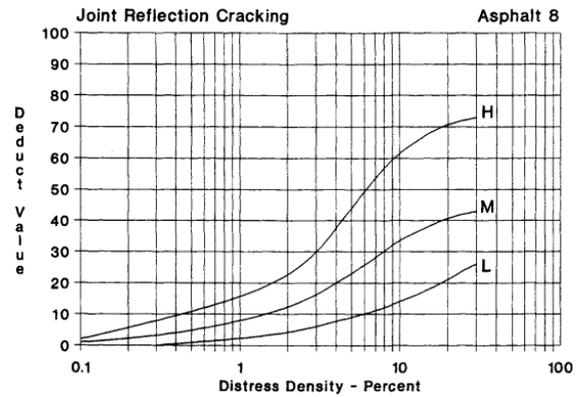


Figura 78 - Dedução para Fissuras por Reflexão de Juntas.

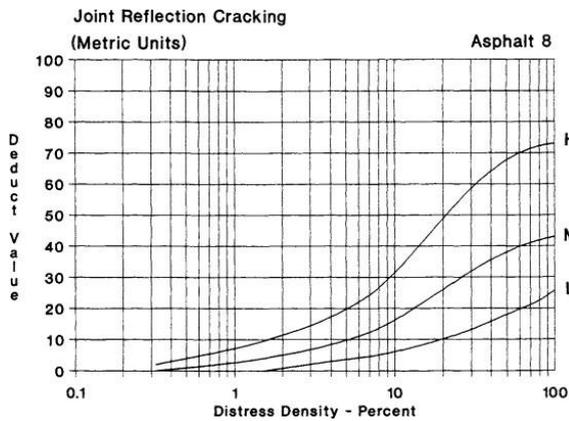


Figura 79 - Dedução para Fissura por Reflexão de Juntas por unidade métrica.

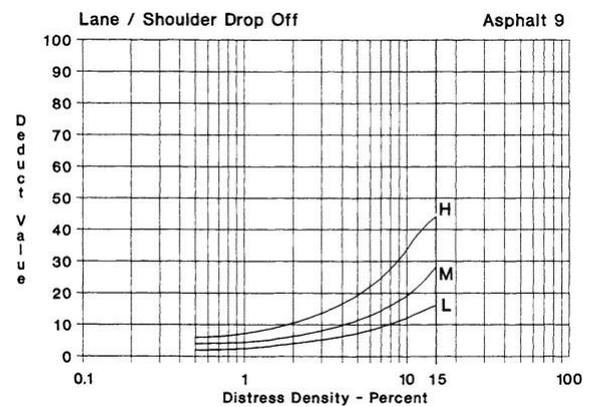


Figura 80 - Dedução para Desnível Pista/Acostamento.

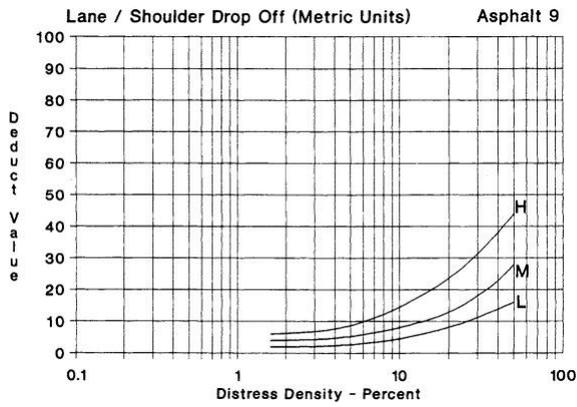


Figura 81 - Dedução para Desnível Pista/Acostamento por unidade métrica.

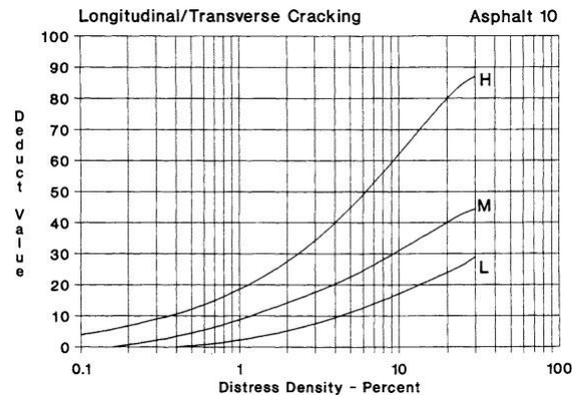


Figura 82 - Dedução para Fissuras Longitudinais/Transversais.

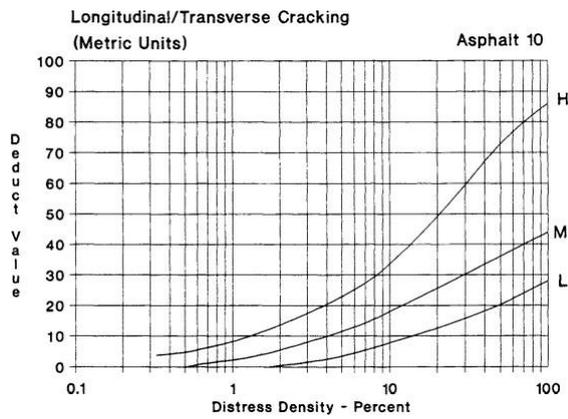


Figura 83 - Dedução para Fissuras Longitudinais/Transversais por unidade métrica.

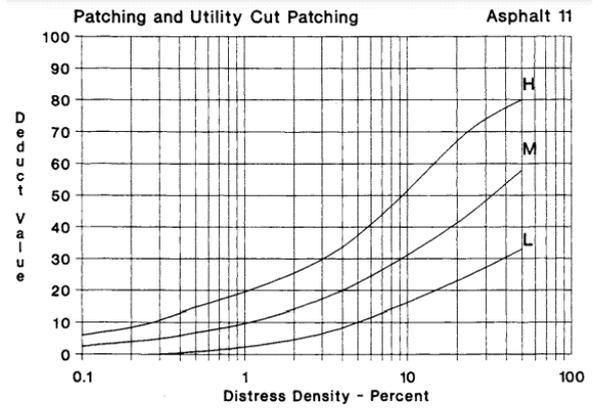


Figura 84 - Dedução para Remendos.

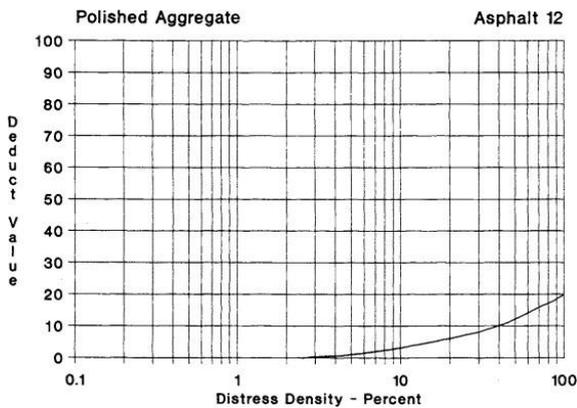


Figura 85 - Dedução para Agregados Polidos.

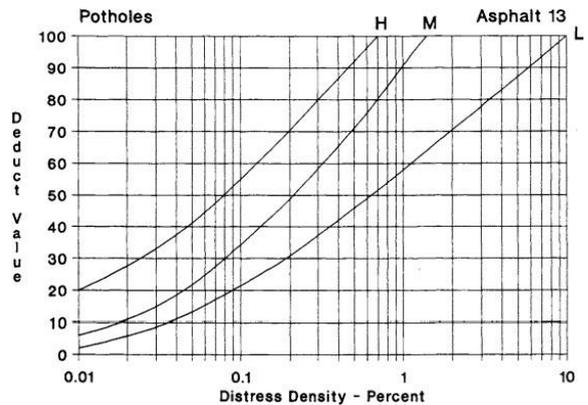


Figura 86 - Dedução para Painelas.

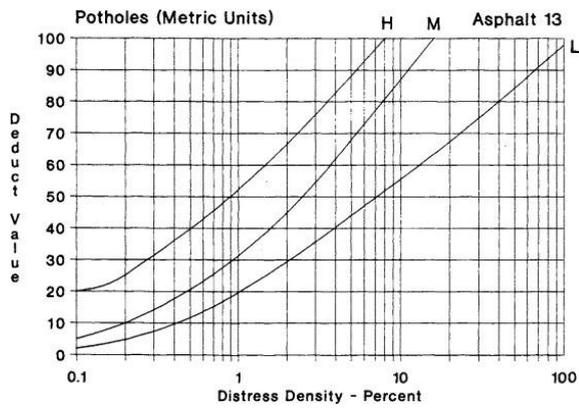


Figura 87 - Dedução para Panelas por unidade métrica.

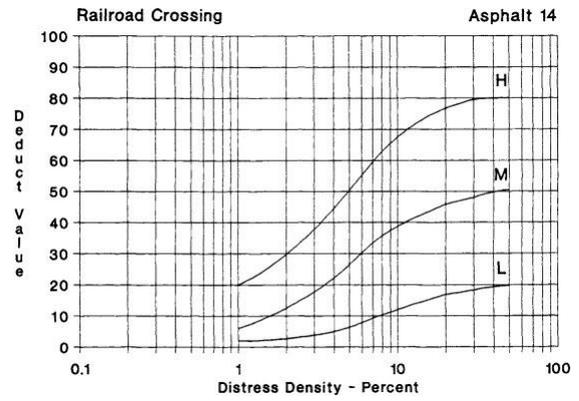


Figura 88 - Dedução para Cruzamento de linha férrea.

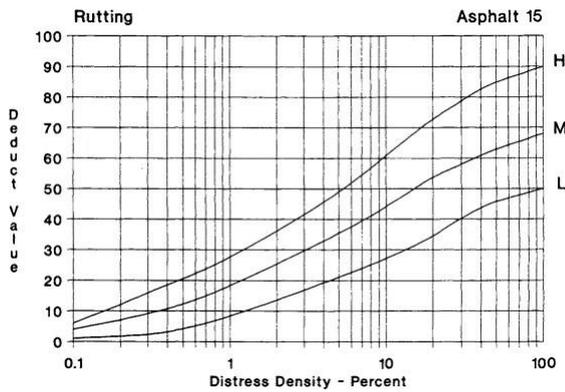


Figura 89 - Dedução para Sulcos.

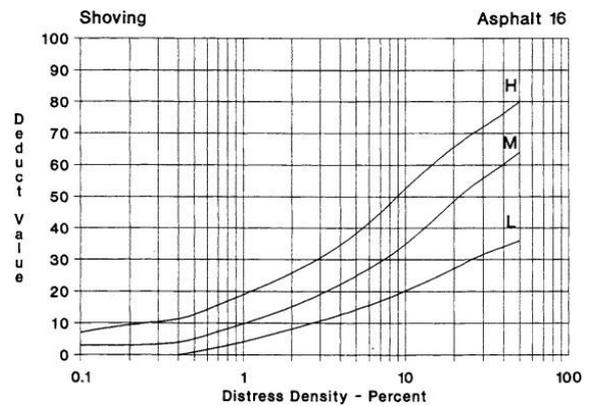


Figura 90 - Dedução para Escorregamento de massa.

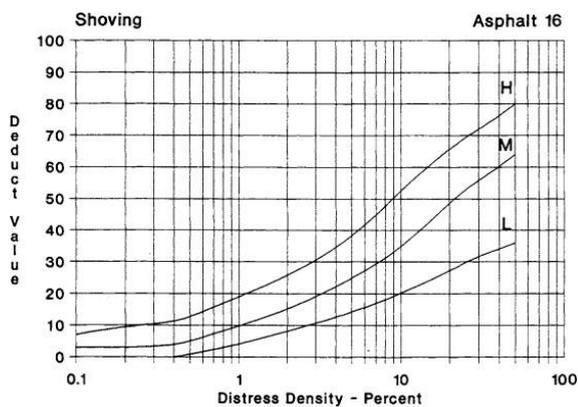


Figura 91 - Dedução para Escorregamento de massa.

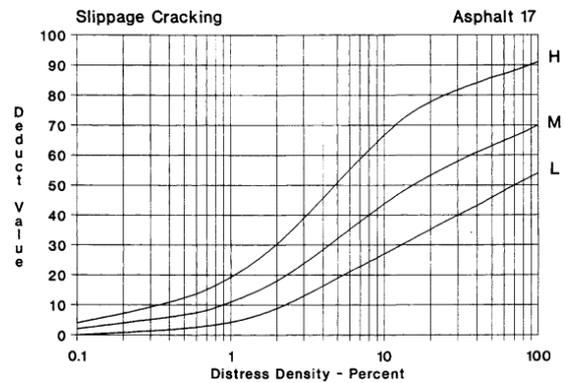


Figura 92 - Dedução para Fissuras devido ao Escorregamento de Massa.

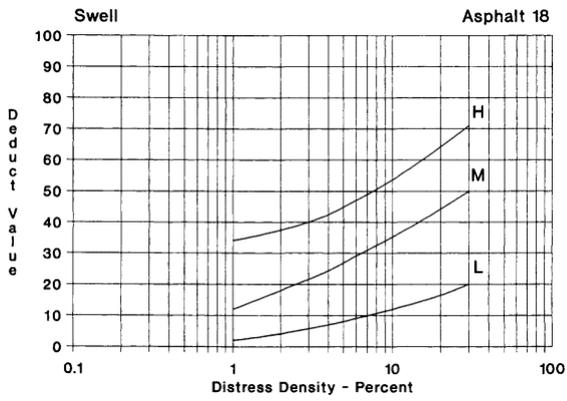


Figura 93 - Dedução para Inchamento.

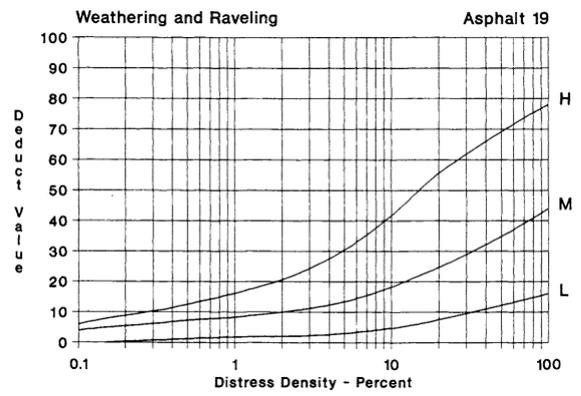


Figura 94 - Dedução para Desgaste.

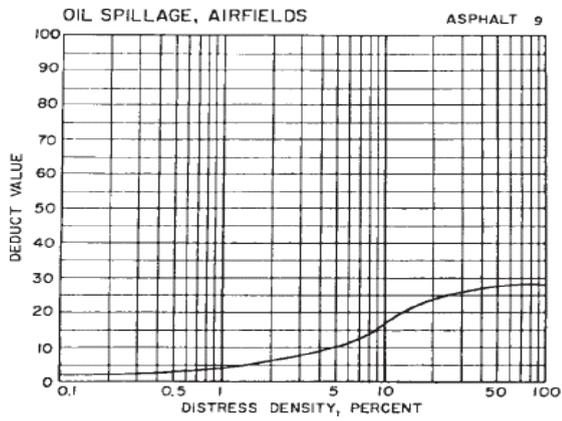


Figura 95 - Dedução para derramamento de óleo.

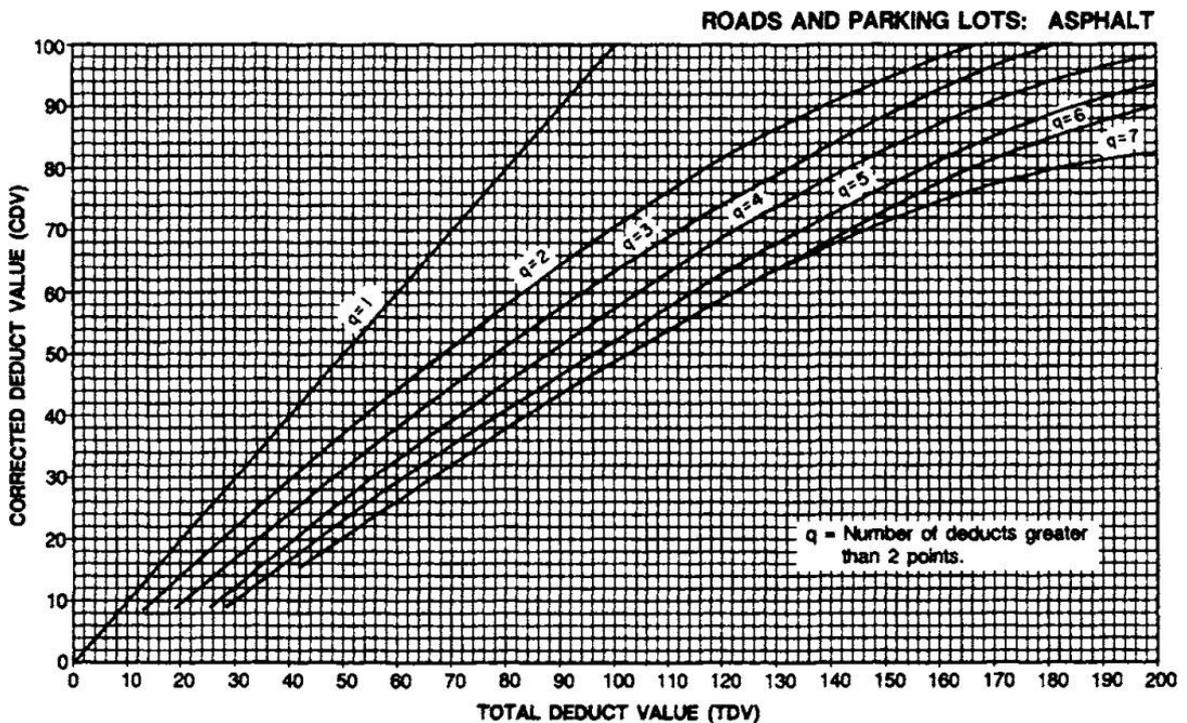


Figura 96 - Curvas para o Valor de Dedução Corrigido (VDC).