



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O NOVO MÉTODO DE
DIMENSIONAMENTO NACIONAL DE PAVIMENTOS – MEDINA E O
MÉTODO DO DNER**

**Daniel Cardoso da Silva
Diego Souza Barbosa**

**Belém – PA
Junho/2021**

**DANIEL CARDOSO DA SILVA
DIEGO SOUZA BARBOSA**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O NOVO MÉTODO DE
DIMENSIONAMENTO NACIONAL DE PAVIMENTOS – MEDINA E O
MÉTODO DO DNER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Dr. Marcelo Figueiredo Massulo
Aguiar

**Belém – PA
Junho/2021**

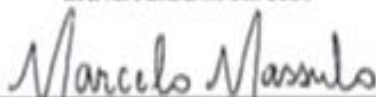
DANIEL CARDOSO DA SILVA
DIEGO SOUZA BARBOSA

Análise comparativa entre o novo método de dimensionamento nacional de pavimentos – MeDiNa e o método do DNER

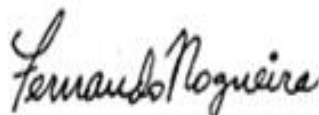
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Belém, 11 de junho de 2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. (Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar)
Orientador



Prof. M. Sc. (Fernando Luiz Rodrigues Nogueira)
Examinador



Eng. (Fabrício de Oliveira Correa)
Examinador

Aprovado, com conceito EXC, em
11 de junho de 2021

Em concordância com
meu amigo, coautor
deste trabalho, Daniel
Cardoso da Silva,
dedicamos este trabalho
em memória de minha
falecida mãe, Simone
Monteiro Souza, que me
ensinou tudo o que sei e
nunca mediu esforços
para que eu pudesse
correr atrás de meus
sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos nossos familiares, que não mediram esforços em auxiliar e nos incentivar nos momentos difíceis no decorrer desses anos de faculdade.

As nossas namoradas, que com suas experiências e companheirismo nos acolheram durante horas e horas em frente ao computador.

Aos nossos amigos, por sempre estarem do nosso lado e sempre acreditarem em nós demonstrando apoio e entendendo nossas ausências nas “resenhas”.

Ao nosso orientador, professor Dr. Marcelo Massulo, por ser paciente e atencioso desde o início da pesquisa, indicando os caminhos a seguir. “BORA!!!”.

Aos nossos colegas de curso, e futuros colegas de profissão, por todos esses anos de companheirismo e aprendizado.

A Universidade Federal do Pará e todos os professores que nos proporcionaram alcançar nossos objetivos acadêmicos.

Por último, mas não menos importante, ao Naruto, por nos ensinar a nunca desistir dos nossos sonhos!

RESUMO

BARBOSA, D. S.; SILVA, D. C. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL DE PAVIMENTOS – MEDINA E O MÉTODO DO DNER**. 2021. 73 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém.

As rodovias possuem uma das maiores relevâncias entre as principais obras de infraestrutura do país. Desta forma compreende-se a importância do dimensionamento adequado dos projetos, pois mantê-los em bom estado é uma garantia de que os motoristas irão trafegar de forma confortável, segura e econômica. Para isso é necessário que se adequem os métodos, e que eles consigam avaliar as estruturas em termos de cargas e dos desgastes do próprio clima, visto que o atual método não consegue aferir tais complexidades. Este trabalho tem como objetivo estabelecer uma comparação entre o método vigente do DNIT (DNER) e o novo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa). A estrutura estudada nesta pesquisa corresponde às obras de duplicação da rodovia BR-316, entre os quilômetros 67,6 e 112,6, no estado do Pará, a qual será dimensionada pelos dois métodos. A estrutura final concebida pelo método do DNER resultou em um revestimento de 12,5 cm, base e sub-base de 15 cm, após a análise do MeDiNa a estrutura apresentou 99,0% de área trincada ao fim dos 10 anos de projeto, indicando ainda um tráfego elevado para estrutura proposta. Ao ser redimensionada pelo MeDiNa, a estrutura ficou constituída por uma base em solo-cimento, sub-base com um leve aumento no módulo de resiliência e a camada de revestimento se manteve constante. Os resultados apresentaram baixo afundamento de trilha de roda e baixo percentual de área trincada, contudo a estrutura teve um aumento de 41% no seu custo por quilometro devido à base em solo-cimento.

Palavras-chave: Pavimentação asfáltica; Dimensionamento de pavimentos; DNER; MeDiNa.

ABSTRACT

BARBOSA, D. S.; SILVA, D. C. COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN THE NEW NATIONAL FLOOR SIZING METHOD - MEDINA AND THE DNER METHOD. 2021. 73 p. Diplomation Work (Graduation in Civil Engineering) - Faculty of Civil Engineering, Federal University of Pará, Belém.

Highways have one of the greatest relevance among the main infrastructure works in the country. In this way, the importance of proper sizing of projects is understood, as keeping them in good condition is a guarantee that drivers will travel comfortably, safely and economically. For this it is necessary that the methods be adapted and that they are able to evaluate the structures in terms of loads and wear and tear of the climate itself, since the current method cannot measure such complexities. This work aims to establish a comparison between the current method of DNIT (DNER) and the new Method of National Dimensioning of Pavements (MeDiNa). The structure studied in this research corresponds to the duplication construction of the BR-316 highway, between kilometers 67.6 and 112.6, in the state of Pará, which will be dimensioned by the two methods. The final structure conceived by the DNER method resulted in a coating of 12.5 cm, base and sub-base of 15 cm, after MeDiNa analysis the structure presented 99.0% of cracked area at the end of the 10 years of design, also indicating a high traffic for the proposed structure. When resized by MeDiNa, the structure underwent changes in the base and sub-base materials, leaving the base thicker than the sub-base, which remained with a constant thickness next to the cladding. The results showed low wheel track sinking and a low percentage of cracked area, however the structure had an increase of 41% in its cost per kilometer.

Key words: Asphalt paving; Design of pavements; DNER; MeDiNa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Condições de aderência em função do tipo da camada.....	22
Figura 2 – Fator de deslocamento em função do dano médio.	23
Figura 3 – Mapa de situação.....	27
Figura 4 – Ábaco para determinação das espessuras do pavimento.....	31
Figura 5 – Janela de dados de tráfego.....	33
Figura 6 – Área de concepção da estrutura.	34
Figura 7 – Escolha do material.....	34
Figura 8 – Botão "Alterar Estrutura >>"	35
Figura 9 – Exemplo de resultados da análise na aba “estrutura”	35
Figura 10 – Exemplo de resultados/danos mensais.....	36
Figura 11 – Exemplo de resultados/ATR.....	36
Figura 12 – Relatório completo dos resultados	36
Figura 13 – Seleção de camada para dimensionamento	37
Figura 14 – Botão Dimensionar.....	37
Figura 15 – Alerta de limite de espessura	38
Figura 16 – Determinação do índice de suporte para o índice de grupo.....	39
Figura 17 – Determinação do tipo e espessura da camada de revestimento.....	40
Figura 18 – Determinação das espessuras segmento 1	40
Figura 19 – Determinação das espessuras segmento 3	41
Figura 20 – dados de tráfego segmento 1.....	43
Figura 21 – dados de tráfego segmento 3.....	43
Figura 22 – Estrutura segmento 1	45
Figura 23 – Estrutura segmento 3.....	45
Figura 24 – Resultados da análise do segmento 1.	45
Figura 25 – Resultados da análise do segmento 3.	46
Figura 26 – Resultados/danos mensais segmento 1.....	47
Figura 27 – Resultados/danos mensais segmento 3.....	47
Figura 28 – Alerta de tráfego elevado do software MeDiNa.....	48
Figura 29 – Estrutura para o dimensionamento do segmento 1.....	49
Figura 30 – Estrutura para o dimensionamento do segmento 3.....	49
Figura 31 – Resultados do dimensionamento do segmento 1.	49

Figura 32 – Resultados do dimensionamento do segmento 3.	50
Figura 33 – Estrutura alternativa dimensionada para o segmento 1	51
Figura 34 – Estrutura alternativa dimensionada para o segmento 3	51
Figura 35 – Estrutura alternativa (2) dimensionada para o segmento 1	56
Figura 36 – Estrutura alternativa (2) dimensionada para o segmento 3.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores típicos de coeficiente de Poisson.	19
Tabela 2 – Unidades de grandezas físicas.	21
Tabela 3 – Condições de aderência em função do tipo da camada.....	24
Tabela 4 – Índice de suporte para o índice de grupo.	29
Tabela 5 – Tipo e espessura mínima da camada de revestimento.	30
Tabela 6 – Coeficiente de equivalência estrutural.....	32
Tabela 7 – Critérios de parada de dimensionamento do MeDiNa	38
Tabela 8 – Correlação dos materiais das camadas com o MeDiNa.....	44
Tabela 9 – Análise dos materiais de jazidas para uso como solo-cimento	50
Tabela 10 – Comparativo entre as estruturas definidas pelos métodos.....	53
Tabela 11 – Análise feita através do MeDiNa para as duas estruturas.....	54
Tabela 12 – Comparativo financeiro.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO – American Association of State Highway and Transportation Officials

AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas

ATR – Afundamento de Trilha de Roda

BC – Brita Corrida

BGS – Brita Graduada Simples

BGTC – Brita Graduada Tratada com Cimento

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBR – California Bearing Ratio

CCR – Concreto Compactado a Rolo

CENPES – Centro de Pesquisas da Petrobras

CNT – Confederação Nacional do Transporte

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

ISC – Índice de Suporte Califórnia

IS – Índice de Suporte do Subleito

K – Coeficiente de Equivalência Estrutural

MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

MH – Macadame Hidráulico

MR – Módulo de Resiliência

Número N – Número de Repetições do Eixo Padrão Rodoviário

SC – Solo-Cimento

SCA – Solo-Cal

SICRO – Sistema de Custos Referenciais de Obras

SMC – Solo Melhorado com Cimento

ν – Coeficiente de Poisson

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVO	14
1.1.1 GERAL.....	14
1.1.2 ESPECÍFICOS.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 MÉTODO DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER).....	17
2.2 ANÁLISE MECANÍSTICA.....	18
2.3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL DE PAVIMENTOS (MEDINA).....	20
2.4 DISCUSSÕES NA LITERATURA RECENTE: MEDINA X DNER	25
3. MÉTODO.....	27
3.1 PROJETO DE ESTUDO	27
3.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS.....	28
3.3 DIMENSIONAMENTO MÉTODO DNER.....	29
3.4 ANÁLISE DA ESTRUTURA MÉTODO MEDINA.....	33
3.5 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA MÉTODO MEDINA	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DNER	39
4.2 ANÁLISE DA ESTRUTURA NO MEDINA	43
4.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA NO MEDINA.....	48
4.4 COMPARATIVO DNER X MEDINA	52
4.5 CONFRONTO DE RESULTADOS COM A LITERATURA RECENTE	55
5. CONCLUSÃO.....	58
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS.....	61

ANEXO A - PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIA (BR-316/PA) - VOLUME 1 RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO E DOCUMENTOS PARA A CONCORRÊNCIA – Estudos Geotécnicos – Jazidas	64
ANEXO B - PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIA (BR-316/PA) - VOLUME 1 RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO E DOCUMENTOS PARA A CONCORRÊNCIA – Projeto de Pavimentação.....	69

1. INTRODUÇÃO

A base para o desenvolvimento econômico de um país é a infraestrutura. Qualquer que seja a atividade desenvolvida em uma região, necessita de condições materiais mínimas para prosseguir, portanto, quanto maiores são as dificuldades encontradas por conta de uma infraestrutura deficiente, mais encarecido ficará o produto ou serviço, prejudicando tanto o mercado interno quanto o externo.

Os transportes compõem o conjunto responsável pelo deslocamento de pessoas e cargas de um lugar para o outro. Quanto mais uma país se desenvolve, maior é a demanda sobre os meios de transporte, tornando-se assim, um dos principais elementos de infraestrutura de um país. Segundo o site G1¹ (2018), 58% do transporte de cargas e pessoas no Brasil é feito por rodovias, sendo o país, entre as principais economias do mundo, que mais depende desse modal e que historicamente o priorizou; na década de 1950 o governo de Juscelino Kubitschek teve a estratégia de integrar o território brasileiro, fazendo isso por meio da ampliação da malha rodoviária do país, para atrair empresas automobilísticas internacionais (SILVA, 2021).

Com as rodovias possuindo uma das maiores relevâncias entre as principais obras de infraestrutura da época acarretou-se um destaque na forma de projetar os pavimentos a fim de garantir qualidade e durabilidade. Assim, na década de 1960, o engenheiro Murilo Lopes de Souza publicou, junto ao extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), uma adaptação do método de dimensionamento utilizado nos Estados Unidos, baseado no ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR), para ser aplicado no Brasil (SOUZA, 1981, p.7). Um método empírico que alguns anos depois sofreu algumas atualizações e consolidou-se, sendo utilizado até os dias atuais.

Contudo, com o passar dos anos, foram observadas deficiências presentes no método, a principal está relacionada a não consideração dos efeitos da fadiga nos revestimentos asfálticos, o que ocasiona seu desgaste precoce prejudicando também as camadas inferiores (FRANCO, 2007 apud CHIARELLO *et al.*, 2019). Além disso,

¹ Portal de notícias brasileiro mantido pelo Grupo Globo e sob orientação da Central Globo de Jornalismo.

por se tratar de uma adaptação, fatores importantes como solo e clima não receberam a devida atenção, sendo analisados genericamente (SILVA, 2018). Outra questão negativa é a defasagem do método em alguns aspectos; o eixo padrão rodoviário brasileiro, por exemplo, que é determinado como um eixo simples de rodas duplas que transmite ao pavimento a carga de 8,2 toneladas, foi criado em uma época distinta dos dias atuais, portanto não considera a evolução ao longo dos anos da frota de veículos do país (CHIARELLO *et al.*, 2019).

Um estudo da Companhia Nacional dos Transportes (CNT, 2017), intitulado “Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? ”, apresenta de forma detalhada a péssima situação das rodovias brasileiras além de listar as possíveis causas disso. Dentre as respostas políticas e financeiras, o estudo destaca o quão o método brasileiro é obsoleto em relação a outros países. Estados Unidos e Portugal, por exemplo, utilizam um método mecanístico-empírico além do auxílio de *softwares* específicos para verificação da estrutura. A análise mecanística dos pavimentos visa avaliar as tensões, deformações e deslocamentos ocasionados pelo carregamento do tráfego à estrutura como um todo, de forma a avaliar a deformação das camadas e os danos causados pela fadiga, além de se observar a influência da variação das condições climáticas. Assim, os possíveis problemas da estrutura podem ser previstos e corrigidos, garantido uma maior durabilidade.

Dessa forma, o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) desde 2015 tem trabalhado na elaboração do novo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa), um método mecanístico-empírico, para substituir o método vigente. Atualmente o DNIT encontra-se em uma fase de transição do método, onde se está aperfeiçoando a calibração do *software* por meio da avaliação dos dados obtidos em laboratório com os dados verificados em campo.

1.1 OBJETIVO

1.2 GERAL

Este trabalho busca estabelecer uma comparação entre o até então método vigente (empírico) do DNIT (DNER) e o novo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos – MeDiNa (método mecanístico-empírico brasileiro), analisando o

projeto da duplicação da rodovia federal BR-316/PA no segmento compreendido entre os municípios de Castanhal e Santa Maria, no estado do Pará.

1.3 ESPECÍFICOS

- Apresentar o método MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos), ressaltando suas diferenças em relação ao método tradicional;
- Avaliar as estruturas obtidas por meio da implementação dos dois métodos;
- Comparar resultados obtidos de ambos os métodos.

1.4 JUSTIFICATIVA

A evolução sustentável de um país perpassa pela infraestrutura de transporte, que possibilita a movimentação de uma nação e a impulsão de sua economia. No contexto nacional, apesar das diversas possibilidades territoriais naturais, como hidrovias (TERRA, 2019) e/ou mais viáveis, como ferrovias (ESTADÃO, 2019) devido a extensão continental do país, a malha rodoviária foi escolhida por questões políticas e assim se fez necessário um elevado índice de investimento em rodovias para transportar riquezas produzidas, entre outros. A partir disso a Confederação Nacional de Transporte vem alertando sobre a necessidade de aumentar os recursos destinadas as rodovias brasileiras e aplicando melhor o orçamento disponível (CNT, 2019).

De acordo com o relatório gerencial da Confederação Nacional de Transporte (2019) o modal rodoviário brasileiro possui a maior participação na matriz de transporte, sendo, aproximadamente, 61% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros. Na edição de 2019 do relatório foram pesquisados 108.863 quilômetros de rodovias pavimentadas, contemplando a totalidade de rodovias federais e trechos estaduais estratégicos para a movimentação de cargas e passageiros pelo território nacional.

Em relação a qualidade das rodovias pesquisadas, há casos de pavimentos projetados para durar cinco anos, que chegam a apresentar problemas de desgastes em menos de sete meses. Da extensão total avaliada, 52,40% da extensão apresentou algum tipo de problema, sendo 35% considerados regular, 13,70% ruim e 3,70% péssimo (CNT, 2019).

Desta forma compreende-se a importância do dimensionamento adequado dos projetos, pois mantê-los em bom estado é uma garantia de que os motoristas irão trafegar de forma confortável, segura e econômica.

O presente trabalho trata deste tema em nível regional, sendo pioneiro nesta discussão no estado do Pará. As características regionais do estudo são determinadas a partir dos materiais locais utilizados, tendo as jazidas às margens da obra, sendo estas compostas por solo laterítico, os quais serão utilizados para base e sub-base do projeto, conforme descrito no tópico 3.4 intitulado “Estudos Geotécnicos” do documento disponibilizado pelo DNIT chamado “Relatório do Projeto Executivo e Documentos para Concorrência, referente ao Projeto Executivo de Engenharia para Obras de Duplicação de Rodovia na BR-316/PA”.

Atualmente no Brasil é utilizado o método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e está se iniciando a implementação do MeDiNa. A metodologia do DNER de 1966 apresenta caráter generalista que levam uma análise superficial sobre situações específicas, simplificando-as e influenciando no desempenho funcional e estrutural do pavimento. Em contrapartida a metodologia mecanística-empírica, utilizada pelo MeDiNa, apresenta um caráter específico, levando em consideração perante sua análise as características dos materiais potencializando o desempenho do pavimento (COUTINHO, 2011).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentadas as considerações sobre o método vigente adaptado pelo DNER na década de 1960 para ser utilizado no Brasil, assim como as suas deficiências que fomentaram a necessidade da criação de um novo método. Posteriormente são apontados os conceitos que baseiam a análise mecânica e assim o próprio método MeDiNa e por fim são indicados alguns trabalhos recentes que trataram do assunto.

2.1 MÉTODO DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)

As grandes guerras do século passado impulsionaram diversas evoluções em variadas áreas do conhecimento, em função da necessidade de se sobressair aos inimigos; dentre estas evoluções destaca-se, para esta pesquisa, o dimensionamento de pavimentos.

Após o exército americano observar que suas pistas de pouso não suportariam o carregamento de seus novos bombardeiros, foi determinado que o aperfeiçoamento de um método de dimensionamento de pavimentos já existente seria o ideal, e em meio a isso o CBR (California Bearing Ratio) foi escolhido por diversos fatores, dentre eles a possibilidade de poder ser adaptado para a construção de aeródromos (COUTINHO, 2011, p.15).

O método do CBR, desenvolvido pela Divisão de Rodovias da Califórnia na década de 1920, determina a espessura total do pavimento necessária para que o subleito suporte o carregamento imposto pelo tráfego previsto, levando em consideração o valor do CBR do solo do subleito e o próprio tráfego. A concepção do método baseou-se na criação de um gráfico com duas curvas para essa determinação da espessura e o exército americano fez estudos de campo para criar extrapolações dessas curvas (COUTINHO, 2011, p.16). Portanto, a partir dos conhecimentos adquiridos por tal estudo e dos dados obtidos nos testes em pistas experimentais desenvolvidos posteriormente pela AASHO, o engenheiro Murilo Lopes de Souza adaptou o método para ser utilizado no Brasil (SOUZA, 1981, p.7).

O dimensionamento pelo método empírico obteve sucesso visto sua consolidação junto ao DNIT durante tantos anos sendo utilizado no país, porém, pelo fato de ser uma adaptação, existem deficiências. Franco (2007 apud CHIARELLO *et al.*, 2019) destaca que a adaptação desconsidera a diferença do comportamento entre os solos (americano e brasileiro), além dos efeitos da fadiga na estrutura do pavimento, causada pela repetição das cargas do tráfego. Outro fator que tem se tornado problemático é o aumento da frota de veículos do país, tanto em volume quanto em peso, o que tem tornado o eixo padrão um tanto defasado (CHIARELLO *et al.*, 2019). Silva (2018) indica também que em alguns momentos a estrutura pode estar superdimensionada, visto que o degelo da primavera (considerado nos testes da AASHO) que ocorre nos EUA se faz ausente em um país predominantemente tropical como o Brasil.

Franco (2007) lembra que o empirismo é muito válido para as condições em que ele foi determinado, porém se torna um limitante quando aplicado a condições divergentes. Portanto, reduzir a parcela de empirismo no dimensionamento de pavimentos se tornou o objetivo dos engenheiros de pavimentação.

2.2 ANÁLISE MECANÍSTICA

A análise mecanística aplica a teoria da elasticidade para fornecer uma visão dos impactos causados pelo tráfego em uma estrutura de pavimento, correlacionando a resistência dos materiais empregados. Assim, pode-se alterar os materiais e/ou a espessura das camadas com o intuito de se obter uma estrutura que trabalhe em harmonia, de forma a prolongar sua vida útil (NETO, 2004).

Para tanto, se faz necessário uma caracterização minuciosa do comportamento tensão-deformação dos materiais afetados pelo tráfego, o que torna o módulo de resiliência (M_R) e coeficiente de Poisson (ν) dos materiais uma característica importante a ser identificada (BEZERRA, 2014 apud MORAES, 2017). Estes dados podem ser obtidos em ensaio de campo, porém a determinação em laboratório se torna preferencial por conta da possibilidade de se obter um maior controle dos resultados (NETO, 2004).

O módulo de resiliência é definido como a relação entre a tensão-desvio (σ_d) e a sua correspondente deformação recuperável (ε_r), onde a norma DNIT 134/2018-ME, intitulada “Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio”, estabelece os procedimentos para se obter esses dados através do ensaio triaxial cíclico, conforme a Equação 1.

Equação 1 – Módulo de Resiliência

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (1)$$

Em que:

M_R = Módulo de Resiliência (MPa)

σ_d = tensão desvio (MPa)

ε_r = deformação específica recuperável ou resiliente

O DNIT também possui outra norma com procedimentos para determinação do módulo de resiliência, esta específica para misturas asfálticas, a 135/2018 – ME, “Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio”, onde a obtenção dos dados se dá a partir do ensaio por compressão diametral de carga repetida.

O coeficiente de Poisson, que é o parâmetro que determina o quanto o material se deforma no sentido horizontal em relação à deformação no sentido do carregamento (MARANGON, 2018), para misturas asfálticas também pode ser obtido por meio do ensaio anteriormente citado, porém Balbo (2007, apud JACQUES, 2015) diz que hoje em dia não é comum a realização de ensaios e apresenta a faixa de variação para alguns materiais, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores típicos de coeficiente de Poisson.

Material	Faixa de Variação
Concretos Asfálticos	0,32 - 0,38
Concreto de Cimento Portland	0,15 - 0,20
BGS, MH, BC	0,35 - 0,40
CCR, BGTC	0,15 - 0,20
SC, SMC	0,20 - 0,30
SCA	0,25 - 0,30
Solos arenosos	0,30 - 0,35
Areias Compactadas	0,35 - 0,40
Solos finos	0,40 - 0,45

Fonte: Balbo (2007), apud JACQUES, 2015.

2.3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL DE PAVIMENTOS (MEDINA)

O MeDiNa é um *software* desenvolvido entre 2015 e 2018, a partir da cooperação entre o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), além da colaboração do Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES) e de diversas Universidades do Brasil, para auxiliar no dimensionamento e verificação de estruturas de pavimentos asfálticos por meio da análise mecânica (IPR; DNIT, 2020, p.42).

O novo método de pavimentação asfáltica recebeu esse nome em homenagem ao engenheiro e professor Jacques de Medina, responsável pela introdução da mecânica dos pavimentos no Brasil ao trazer sua experiência com trabalho e estudos durante o seu mestrado nos EUA na década de 1950 (IPR; DNIT, 2020, p.9).

A versão inicial foi publicada em 9 de outubro de 2018 e desde então recebeu algumas atualizações com correções. Foi utilizada nesta pesquisa a versão 1.1.5, publicada em 22 de dezembro de 2020.

Assim como no método do DNER, o dimensionamento pelo MeDiNa necessita de uma ampla base de dados confiáveis, coletados através de ensaios em laboratório como o estudo do subleito e dos materiais naturais obtidos em jazidas que serão utilizados nas camadas de reforço do subleito, sub-base e base. O *software* também define parâmetros mínimos a serem exigidos no que diz respeito aos materiais que serão produzidos posteriormente, como misturas asfálticas ou bases estabilizadas com cimento. A determinação do número equivalente de eixos (número N) através do programa também necessita de dados confiáveis, visto que as alterações implicadas nestes valores modificam de maneira considerável o valor final do número N (IPR; DNIT, 2020, p.43).

Segundo as considerações e hipóteses fundamentais pontuadas no Manual do MeDiNa; relacionada a solução de problemas de elasticidade linear em sistemas computacionais de multicamadas e contínuos, tem-se:

- a) os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos (a modelagem elástica não linear é feita por iterações elásticas lineares);
- b) a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
- c) as camadas são ilimitadas na direção horizontal;
- d) todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
- e) a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
- f) na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
- g) a carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
- h) a grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
- i) as condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência (IPR; DNIT, 2020, p. 44).

Quanto as unidades de grandezas físicas adotadas, tem-se a seguinte tabela:

Tabela 2 – Unidades de grandezas físicas.

Grandeza	Unidade
Espessuras e distâncias	cm
Raio de carregamento	cm
Deslocamentos	µm
Deflexões (viga Benkelman ou FWD)	0,01mm
Deformações específicas	m/m
Área de contato	cm ²
Pressão de inflação e tensões	MPa
Carga de eixo ou de roda	ton
Massa específica aparente seca	g/cm ³

Fonte: IPR; DNIT (2020, p. 45).

Em relação a calibração e validação, Pitangui (2019) refere que, para execução dos cálculos de danos no pavimento, o ajuste principal é em relação a função de transferência. No MeDiNa o reajuste da calibração foi feito no projeto Fundão, proposto por Fritzen (2016), que objetivou a definição da melhor curva sigmoidal que representasse de forma mais adequada a evolução da área trincada dos segmentos, monitorados para medição da mesma, utilizando um gabarito elaborado no laboratório

da COPPE. Assim, em todas as seções avaliadas, multiplicou-se fatores de deslocamento aos valores de Número N, nos casos em que existiam leituras de área trincada, com a finalidade de dirimir o erro entre a curva sigmoide e a evolução de área trincada, obtendo-se um valor de Número N ajustado, conforme a Equação 2.

Equação 2 – Número N ajustado

$$N' = (N * fS) * 10^{-10} \quad (2)$$

Em que:

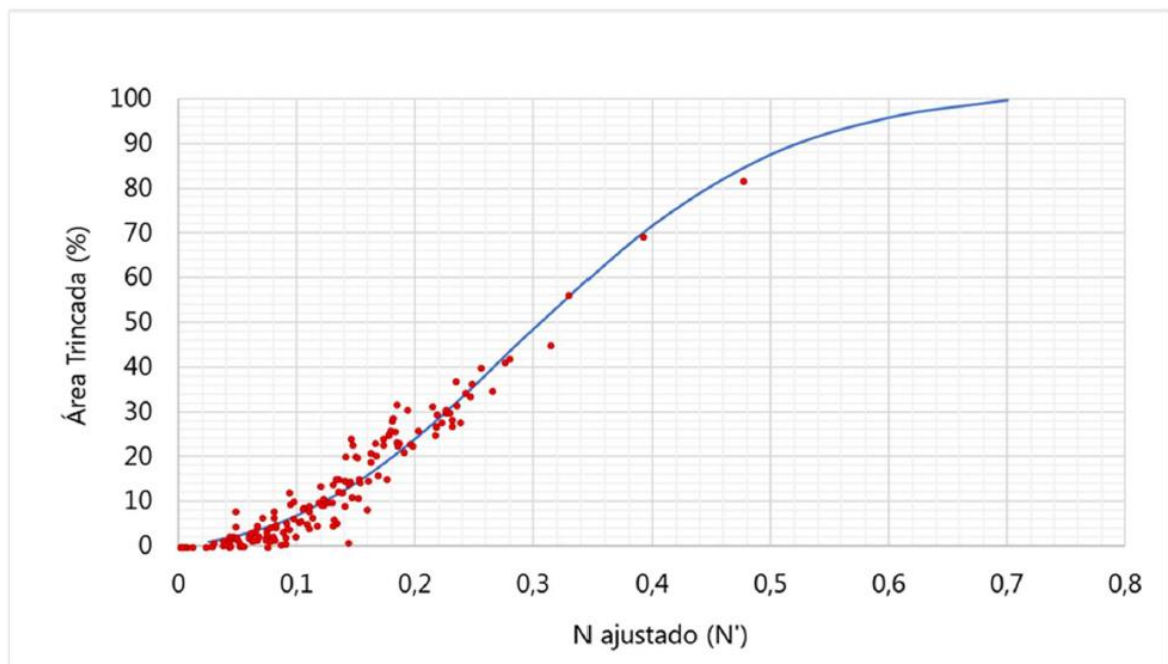
N' = número N ajustado;

N = número de repetições do eixo padrão quando foi realizada a medição de área trincada;

fS = fator de deslocamento atribuído

Desse modo, depois de aplicados os fatores de deslocamento, as seções avaliadas por Fritzen (2016) se ajustaram à curva sigmoide, resultando na Figura 1.

Figura 1 – Condições de aderência em função do tipo da camada.



Fonte: IPR; DNIT (2020, p. 47).

Uma vez definida a curva, foi necessário correlacionar os dados de área trincada com as informações estruturais do pavimento. Como aponta o Manual do MeDiNa (IPR; DNIT, 2020), o dano médio foi estimado em uma malha distribuída em 20 pontos da camada de revestimento asfáltico, ou seja, para cada período o programa calcula o dano médio, conforme Equação 3, distribuído nesses 20 pontos,

que se dá pela divisão de uma aplicação do eixo de carga padrão pelo número admissível de aplicações desse eixo.

Equação 3 – Dano médio

$$D_{m\u00e9dio} = \frac{1}{20} \sum \left(\frac{1}{N} \right)_{t,c} \quad (3)$$

Calculado o dano m\u00e9dio ($D_{m\u00e9dio}$), obteve-se a Fun\u00e7\u00e3o de Transfer\u00eancia, capaz de transformar o dano em uma previs\u00e3o de \u00e1rea trincada. A fun\u00e7\u00e3o \u00e9 demonstrada na Equa\u00e7\u00e3o 4 e visualizada na Figura 2 (IPR; DNIT, 2020).

Equa\u00e7\u00e3o 4 – Fator de deslocamento

$$fS = C1 * (D_{m\u00e9dio})^{C2} \quad (4)$$

Em que:

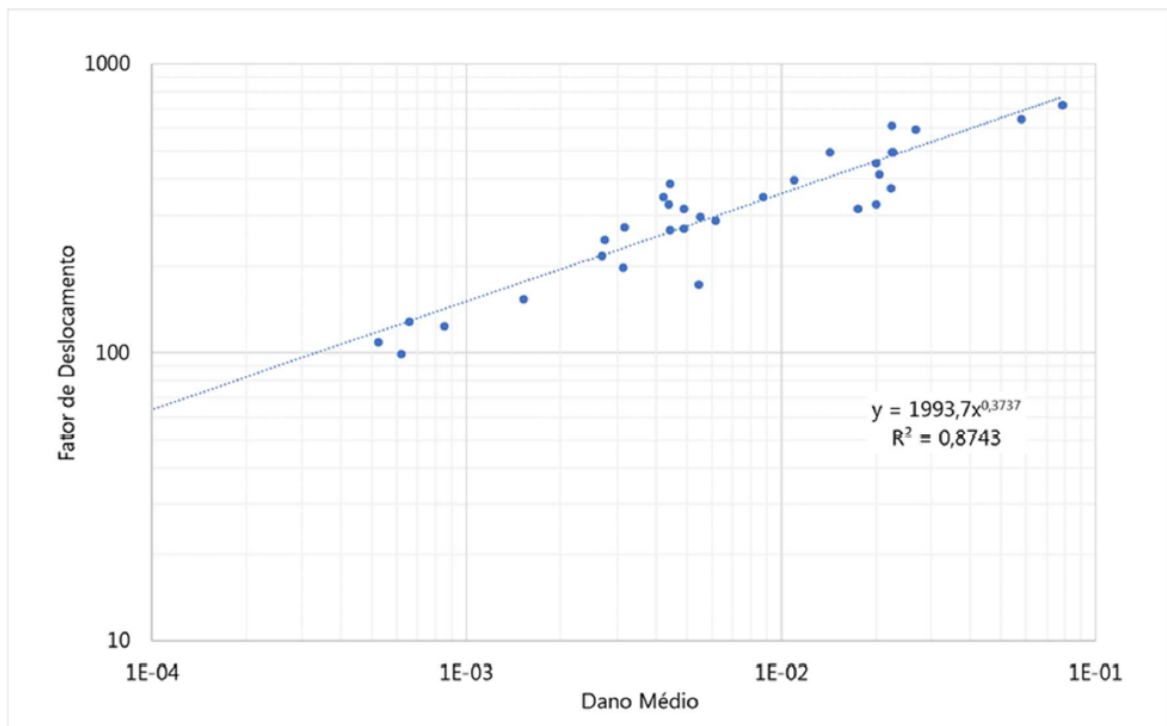
fS = Fator de deslocamento

$C1 = 1993,7$

$C2 = 0,3737$

$D_{m\u00e9dio}$ = Dano m\u00e9dio

Figura 2 – Fator de deslocamento em fun\u00e7\u00e3o do dano m\u00e9dio.



Fonte: IPR; DNIT (2020, p. 48).

A partir destes cálculos, baseado nos coeficientes cadastrados, o programa MeDiNa permite calcular a área trincada para previsão de ruptura da estrutura de pavimento proposta.

Quanto a condição de aderência o MeDiNa utiliza o programa de cálculo de tensões, deformações e deslocamentos (AEMC), gerando uma modelagem física similar a teoria de molas, com a finalidade de permitir o movimento horizontal relativo na interface entre duas camadas. O *software* permite apenas a definição de duas condições, sendo elas: NÃO ADERIDO (=0) e ADERIDO (=1) (IPR; DNIT, 2020, p.50). As condições também são pré-estabelecidas, com base nos seguintes critérios, ilustrados na Tabela 3:

Tabela 3 – Condições de aderência em função do tipo da camada.

CAMADA	CONDIÇÃO
Camada asfáltica sobre outra camada asfáltica	ADERIDO
Camada asfáltica sobre camada cimentada	NÃO ADERIDO
Camada asfáltica sobre camada antirreflexão de trincas	ADERIDO
Camada asfáltica sobre camada de solos granulares	NÃO ADERIDO
Tratamento superficial sobre camadas asfálticas	ADERIDO
Tratamento superficial sobre camadas de solos granulares	NÃO ADERIDO
Camada estabilizada sobre outra camada estabilizada	NÃO ADERIDO
Camada estabilizada sobre camadas de solos granulares	NÃO ADERIDO
Camada antirreflexão de trincas sobre camadas estabilizadas	NÃO ADERIDO
Camada de solos ou granulares sobre camadas asfálticas, cimentadas, de solos ou granulares	NÃO ADERIDO

Fonte: IPR; DNIT (2020, p. 50).

O programa MeDiNa contém uma base de dados incorporada com informações em relação aos materiais, materiais esses ensaiados e que constam em publicações técnicas, não sendo passíveis de alteração, somente quanto a espessura e o tipo de Módulo (elástico linear ou não linear) quando disponíveis (IPR; DNIT, 2020).

Portanto, é recomendado se ensaiar tais materiais que farão parte do projeto, visto que o MeDiNa permite que o projetista insira novos deles na base de dados do *software*, estes passíveis de alteração a qualquer momento. Porém, os ensaios para determinação de módulos de resiliência são considerados especiais, considerando

seu elevado custo (CUNTO, 1998), e tem se tornado inacessível a todos os processos de dimensionamento devido à sua complexidade (PITANGUI, 2019).

2.4 DISCUSSÕES NA LITERATURA RECENTE: MEDINA X DNER

Atualmente no contexto nacional há a discussão sobre a adequação necessária do MeDiNa, baseando-se em estudos comparativos com a finalidade de validar os seus resultados em relação ao método do DNER.

Pitangui (2019) salienta que em boa parte das observações os materiais utilizados no programa não correspondem exatamente aos utilizados nos dimensionamentos das vias escolhidas, porém, fornecem resultados passíveis de análises. Diante disso, verificou-se que dez projetos ultrapassaram o critério de dano por fadiga. Tais dados correspondem com a falta de previsão dos danos por fadiga nas metodologias antigas, que agora são salientadas no MeDiNa. Mesmo utilizando aspectos de módulo superiores ou iguais aos de campo, não foi possível suprir a necessidade do MeDiNa, pois seria necessário o ensaio de todos os materiais para obter as curvas de fadiga e do modelo de deformação permanente, exigidos pelo programa. Entretanto, conclui-se que, mesmo diante da incompatibilidade de algumas informações o MeDiNa, principalmente para tráfegos muito elevados, pode vir a apresentar resultados superdimensionados que pode acarretar um aumento considerável de custo.

As análises de Chiarello *et al.* (2019) concluíram que a estrutura dimensionada pelo método do DNER não suportaria sequer os primeiros trinta dias quanto à deformação permanente; sofrendo com danos causados pelo fenômeno da fadiga, apresentando uma área trincada acima dos limites impostos para o tipo da via. Acerca das estruturas dimensionadas pelo método mecanístico-empírico do MeDiNa, verificou-se um resultado excelente durante os 10 anos de projeto. Ambas as estruturas dimensionadas poderiam ser executadas e gerariam aos usuários conforto e economia ao rolamento, além de segurança, atendendo aos princípios básicos. Revestimentos mais espessos e de qualidade elevada, ou até a aplicação de camadas granulares maiores acabam onerando a estrutura. A princípio, o valor total para cada quilômetro das estruturas do MeDiNa gera certo espanto, contudo analisando as solicitações e a qualidade, este valor torna-se aceitável.

Em contrapartida Silva (2018) diz que a estrutura do pavimento da rodovia AL-145, dimensionada pelo método do DNER também atende aos critérios limites de dimensionamento mecanístico empírico do método nacional. Entretanto o MeDiNa indicou uma possibilidade de otimizar a estrutura no que diz respeito a sua espessura. Caso tivesse sido dimensionado usando o MeDiNa, a duplicação da AL-145 teria uma redução de 2,2% do preço global da obra.

Contudo, de acordo com o item de perguntas frequentes (IPR; DNIT, 2020, p. 76), não é correto afirmar que o novo método de dimensionamento nacional resultará em camadas mais espessas que as do método vigente, sendo necessário a realização de todos os ensaios exigidos por ambos os métodos para depois elaborar os dimensionamentos. Como não existe correlação entre o CBR e os parâmetros de resiliência dos materiais, os resultados podem ser de espessuras menores ou maiores, dependendo sempre da qualidade dos mesmos.

Por isso, com base nos trabalhos apresentados e na compreensão de que se faz necessário a comprovação e comparação dos dois métodos, acredita-se que pesquisas envolvendo o dimensionamento em diferentes localidades do país sejam imprescindíveis para a validação e valorização de projetos estruturais de vias.

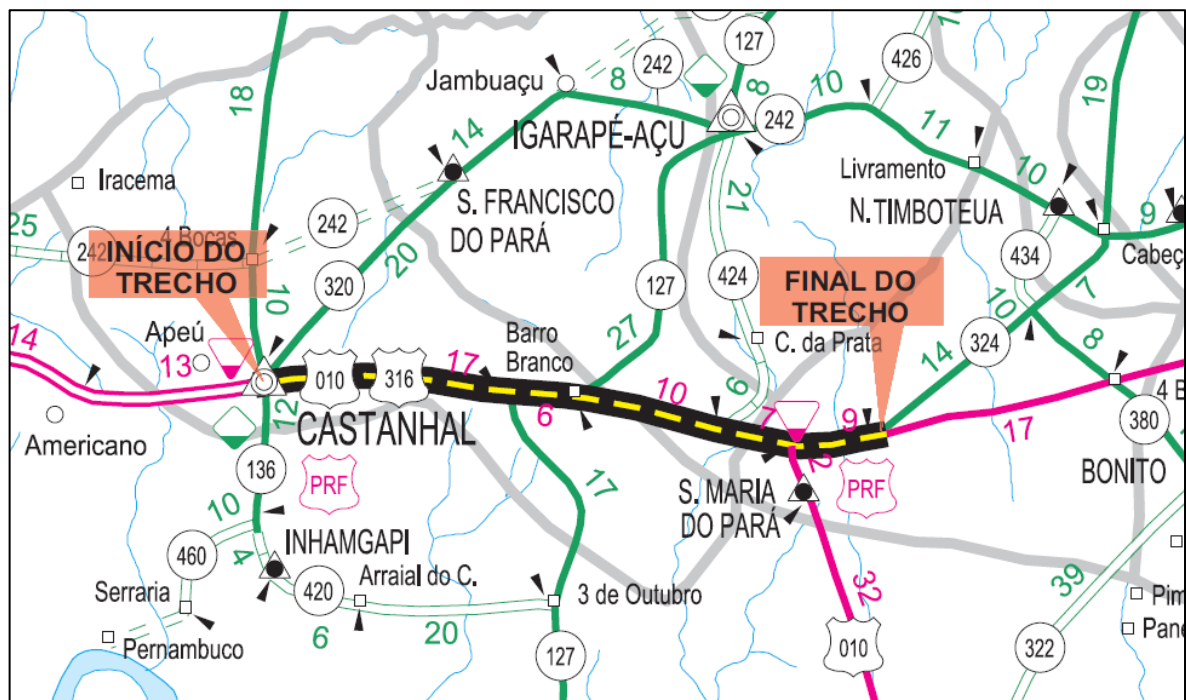
3. MÉTODO

Neste capítulo serão apresentadas as informações referentes ao projeto, bem como o seu estudo de tráfego e características dos materiais empregados, e por fim é definido o processo para o dimensionamento por meio dos métodos DNER e MeDiNa.

3.1 PROJETO DE ESTUDO

A estrutura de pavimento posta como objeto de estudo para esta pesquisa corresponde às obras de duplicação da rodovia BR-316, entre os municípios de Castanhal e Santa Maria, no estado do Pará, com extensão de 45,0 km (Figura 3). A obra chega com a promessa de gerar mais segurança e trafegabilidade à região e tem previsão de conclusão para dezembro de 2021 (DNIT, 2020).

Figura 3 – Mapa de situação



Fonte: Projeto executivo de engenharia para obras de duplicação de rodovia; BR-316/PA (2017, p. 9).

As informações que serão apresentadas a seguir foram retiradas a partir do documento disponibilizado pelo DNIT intitulado “Relatório do Projeto Executivo e Documentos para Concorrência, referente ao Projeto Executivo de Engenharia para

Obras de Duplicação de Rodovia na BR-316/PA”, a partir da concorrência pública 344/2009-00.

O tópico 3.1 “Estudo do Tráfego” do Relatório, informa que para este projeto, foram determinados dois segmentos de trecho para estudo: o segmento 1 (estaca 0+0,00 à estaca 1730), compreendido entre Castanhal e Santa Maria do Pará, e o segmento 3 (estaca 1730 à estaca 2250), compreendido entre Santa Maria do Pará e o início da BR-324 (trevo de entrada para Salinópolis). O documento não utiliza um “segmento 2” para o projeto.

O anexo A, nomeado “PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIA (BR-316 PA) - VOLUME 1 RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO E DOCUMENTOS PARA A CONCORRÊNCIA - Estudos Geotécnicos – Jazidas”, contém a caracterização dos materiais de jazidas ao longo da BR-316, estudadas para uso como base e sub-base.

O anexo B, intitulado “PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIA (BR-316 PA) - VOLUME 1 RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO E DOCUMENTOS PARA A CONCORRÊNCIA - Projeto de Pavimentação”, apresenta os dados utilizados pela empresa projetista para o dimensionamento da estrutura por meio do método DNER, desde a concepção da fundação do pavimento (subleito) até a constituição final das camadas de pavimento.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

No que diz respeito aos materiais utilizados para a elaboração dos projetos de terraplenagem e pavimentação, o tópico 3.4 intitulado “Estudos Geotécnicos” informa as possibilidades para cada camada. O estudo lista um total de 23 empréstimos de materiais destinados à execução do corpo de aterro da rodovia, além de 4 jazidas disponíveis para a utilização como material de sub-base e base. O estudo ainda inclui a análise de um areal e uma seixeira.

A determinação do material constituinte das camadas para análise da estrutura foi determinada com base neste estudo, onde constam as características físicas e mecânicas dos materiais das jazidas. O anexo A apresenta essa caracterização dos

materiais, e as espessuras foram determinadas de acordo com o dimensionamento descrito no próximo capítulo.

3.3 DIMENSIONAMENTO MÉTODO DNER

A seguir é descrito o procedimento para se determinar as espessuras das camadas através do método DNER, com auxílio do material produzido pelo engenheiro Murilo Lopes, intitulado “Método de projeto de pavimentos flexíveis”.

O processo inicia-se a partir da determinação da capacidade de suporte do subleito, que é obtido com uma ponderação entre o valor do CBR e o índice de grupo do solo, conforme a Equação 5.

Equação 5 – Índice de suporte do subleito

$$IS_{subleito} = \frac{IS_{CBR} + IS_{IG}}{2} \quad (5)$$

Em que:

$IS_{subleito}$ = Índice de suporte do subleito;

IS_{CBR} = Índice de suporte para o CBR, que é igual ao valor do CBR;

IS_{IG} = Índice de suporte para o índice de grupo.

O índice de suporte para o índice de grupo (IS_{IG}) é encontrado a partir da Tabela 4, determinado em função do índice de grupo (IG).

Tabela 4 – Índice de suporte para o índice de grupo.

Índice de Grupo (IG)	Índice de Suporte (IS_{IG})
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

Fonte: SOUZA (1981, p. 7)

Quando o índice de suporte do subleito resultar em valor maior que o CBR, deve-se ignorar esse resultado e adotar o valor do CBR como IS_{subleito} .

Em seguida, de posse do valor do número N (número equivalente de repetições do eixo padrão), determina-se o tipo e a espessura mínima da camada de revestimento, utilizando a Tabela 5:

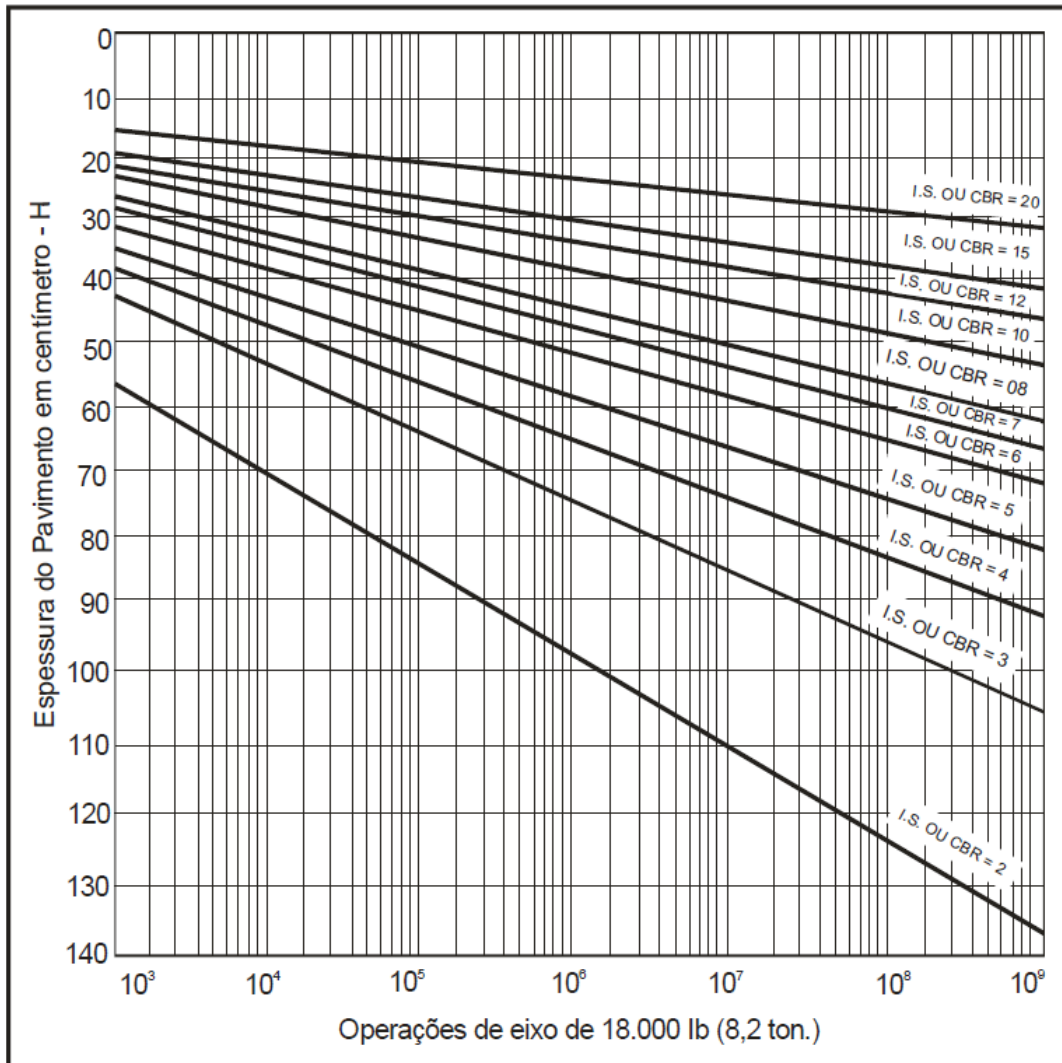
Tabela 5 – Tipo e espessura mínima da camada de revestimento.

N	Revestimento Betuminoso	Espessura
$N \leq 10^6$	Tratamento Superficiais	0,0 cm
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos Betuminosos	5,0 cm
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto Betuminoso	7,5 cm
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso	10,0 cm
$N > 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso	12,5 cm

Fonte: SOUZA (1981, p. 16)

Após isso, o procedimento segue com a utilização do ábaco para determinação das espessuras. O gráfico (Figura 4) determina a espessura total do pavimento em função do número N e do CBR. Marcando-se o valor de N no eixo das abscissas, segue-se uma linha vertical até encontrar a reta do CBR correspondente, em seguida é feita uma linha horizontal até encontrar a espessura do pavimento sobre a camada no eixo das ordenadas.

Figura 4 – Ábaco para determinação das espessuras do pavimento.



Fonte: SOUZA (1981, p. 18)

O gráfico na Figura 4 indica a espessura em função de um coeficiente de equivalência estrutural (K) igual a 1, que corresponde a camadas granulares. Para se determinar a espessura de camadas de outros materiais deve-se determinar o coeficiente equivalente, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Coeficiente de equivalência estrutural.

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou Revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou Revestimento PM Quente, graduação Densa	1,70
Base ou Revestimento PM Frio, graduação Densa	1,40
Base ou Revestimento por penetração	1,20
Camadas Granulares	1,00
Solo-cimento de resistencia baixa	1,70
Solo-cimento de resistencia intermediária	1,40
Solo-cimento de resistencia alta	1,20

Fonte: SOUZA (1981, p. 15)

Com a obtenção das espessuras por meio do ábaco (Figura 4) e dos coeficientes K (Tabela 6), determina-se as espessuras reais para as camadas de base, sub-base e reforço do subleito por meio das inequações abaixo:

Equação 6 – Determinação da espessura da Base

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (6)$$

Fonte: SOUZA (1981)

Equação 7 – Determinação da espessura da sub-base

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (7)$$

Fonte: SOUZA (1981)

Equação 8 – Determinação da espessura do reforço do subleito

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m \quad (8)$$

Fonte: SOUZA (1981)

Em que:

R = Espessura da camada de revestimento;

K_R = Coeficiente de equivalência estrutural da camada de revestimento;

B = Espessura da base;

K_B = Coeficiente de equivalência estrutural da camada de base;

H₂₀ = Espessura equivalente acima da sub-base;

h₂₀ = Espessura da sub-base;

K_S = Coeficiente de equivalência estrutural da camada de sub-base;

H₂₀ = Espessura equivalente acima do reforço do subleito;

h_n = Espessura do reforço do subleito;

K_{Ref} = Coeficiente de equivalência estrutural da camada de reforço do subleito;
 H_m = Espessura equivalente acima do subleito.

Para camadas granulares a espessura mínima é de 15 cm.

3.4 ANÁLISE DA ESTRUTURA MÉTODO MEDINA

O *software* MeDiNa além de dimensionar também pode analisar uma estrutura previamente dimensionada, portanto, buscando-se uma comparação entre os métodos, essa ferramenta foi utilizada.

O processo para se analisar a estrutura pode ser iniciado primeiramente inserindo-se os dados de tráfego para determinação do número N. A Figura 5 exibe a maneira como o *software* solicita esses dados.

Figura 5 – Janela de dados de tráfego.

+ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
- DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (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

Fonte: *Software* MeDiNa.

Posteriormente devem ser inseridos os dados referentes aos materiais e espessuras das camadas constituintes da estrutura. O banco de dados do *software* conta com vários deles disponíveis, mas podem ser adicionados materiais novos para qualquer camada, desde que se conheça as características dos mesmos, como o módulo de resiliência, coeficiente do Poisson, massa específica, umidade ótima, entre outros.

A seguir temos um exemplo da tela inicial aba “estrutura” (Figura 6), onde se escolhe a estrutura da camada, seu tipo, material e espessura. O módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson estão nesta janela apenas para visualização, não podendo ser alterados, a menos que seja inserido um novo material.

Figura 6 – Área de concepção da estrutura.

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 - Gnaisse 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

Fonte: *Software MeDiNa*.

A camada número 1 é dedicada ao revestimento do pavimento, onde encontra-se disponível na coluna “descrição do material” o tratamento superficial, concreto asfáltico, concreto asfáltico borracha e concreto asfáltico modificado. A coluna “tipo” está reservada para se escolher o material específico da camada, como o tipo de CAP para concreto asfáltico. A Figura 7 ilustra como é selecionado o tipo de material, de acordo com a camada; neste exemplo, a escolha do tipo de concreto asfáltico.

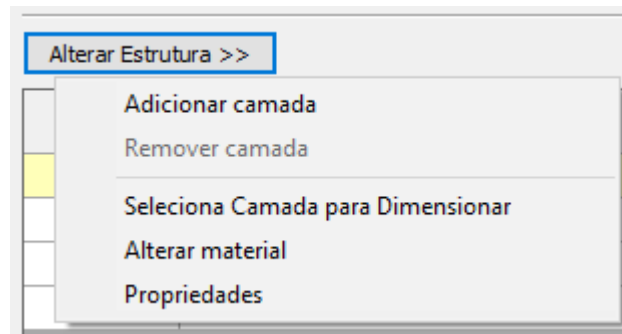
Figura 7 – Escolha do material.

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

Fonte: *Software MeDiNa*.

Se houver a necessidade de adicionar mais uma camada a estrutura, existe um botão específico para isso chamado “Alterar Estrutura >>” acima da tabela de modelagem da estrutura, conforme ilustrado na Figura 8.

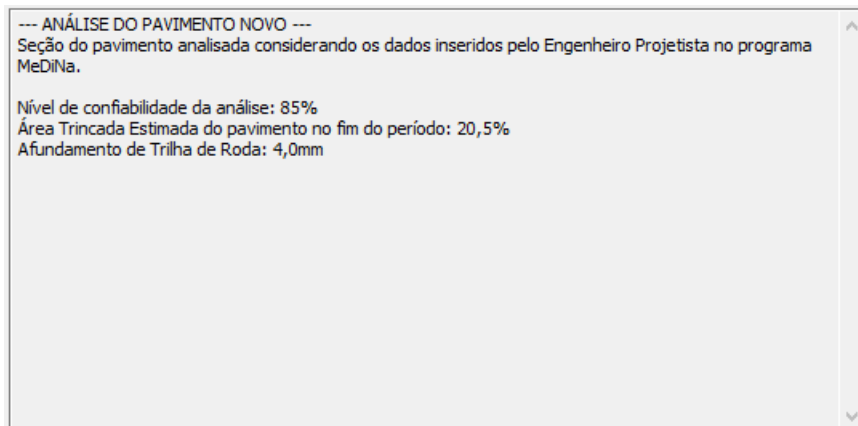
Figura 8 – Botão "Alterar Estrutura >>"



Fonte: *Software MeDiNa*.

Depois que todas as camadas estão devidamente incluídas na estrutura, pode-se alterar as espessuras manualmente, na quarta coluna identificada como “espessura”. Com todas as informações adicionadas no programa basta clicar no menu “Análise > Avaliar estrutura” ou apertar a tecla “F3”. Em segundos o *software* fornece os resultados, resumidamente na aba “estrutura” (Figura 9), indicando dados como estimativa de área trincada e afundamento de trilha de roda.

Figura 9 – Exemplo de resultados da análise na aba “estrutura”



Fonte: *Software MeDiNa*.

A aba “resultados” fornece uma gama de informações pertinentes à estrutura analisada, como uma planilha de dados mensais indicando a evolução do número N, da porcentagem de área trincada e também do afundamento de trilha de roda (Figura 10). O software também disponibiliza um resumo do afundamento de trilha de roda específico por camada (Figura 11).

Figura 10 – Exemplo de resultados/danos mensais

Mês	N equiv	ÁREA TRINCADA (%)	ATR (mm)
1	4,167e+04	1,14%	2,85
2	8,334e+04	1,46%	2,99
3	1,250e+05	1,70%	3,08
4	1,667e+05	1,90%	3,14
5	2,084e+05	2,08%	3,19
6	2,500e+05	2,25%	3,23
7	2,917e+05	2,40%	3,27
8	3,334e+05	2,55%	3,30
9	3,750e+05	2,69%	3,33
10	4,167e+05	2,82%	3,35

Fonte: Software MeDiNa.

Figura 11 – Exemplo de resultados/ATR

CAMADA	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
CONCRETO ASFÁLTICO	0,00
MATERIAL GRANULAR	1,72
SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	1,03
SUBLEITO	1,26
TOTAL	4,0

Fonte: Software MeDiNa.

Ainda na mesma aba, é fornecida uma lista completa em formato de relatório que elenca todos os resultados da análise, como o exibido na Figura 12, detalhando a estrutura do pavimento, os materiais constituintes, a definição do tráfego, a evolução dos danos no pavimento, o afundamento de trilha de roda e as deflexões.

Figura 12 – Relatório completo dos resultados

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020	
Cópia registrada para daniel.cardoso.sva (daniel.cardoso.sva@gmail.com), da empresa UFPA.	
Análise do pavimento	
Empresa: UFPA	
Nome do Projeto:	
Responsável pelo projeto: daniel.cardoso.sva	
Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.	
Tipo de via: Sistema Arterial Primário	
Nível de confiabilidade: 85%	
Período de projeto: 10 anos.	
Análise realizada em 29/05/2021 às 21:43:13 no modo: Pavimento Novo (Nível A)	
Área trincada prevista no pavimento no fim do período: 20,5%	
Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: 4,0mm	

Fonte: Software MeDiNa.

3.5 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA MÉTODO MEDINA

O dimensionamento por meio do MeDiNa segue basicamente o mesmo roteiro descrito no tópico anterior, mas possui algumas particularidades. Inicia-se adicionando os dados do tráfego e escolhendo-se as camadas, o diferencial está na escolha das espessuras. O *software* dimensiona apenas uma camada por vez, logo deve-se ter uma noção das camadas e materiais utilizados a fim de se pré-dimensionar a estrutura. Com um clique sobre “Selecionar Camada para Dimensionar” (Figura 13) a camada escolhida fica destacada em amarelo, e ao se selecionar no menu a opção “Análise > Dimensionar” (Figura 14), ou apertar a tecla “F2”, irá obter-se um resultado.

Figura 13 – Seleção de camada para dimensionamento

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO
1	CONCRETO ASFÁLTICO	
2	SOLO FINO, SILTOSO	
>> 3 <<	SOLO FINO, SILTOSO	
SL	SUBLEITO	

Adicionar camada
Remover camada
Seleciona Camada para Dimensionar
Alterar material
Propriedades

Fonte: *Software* MeDiNa.

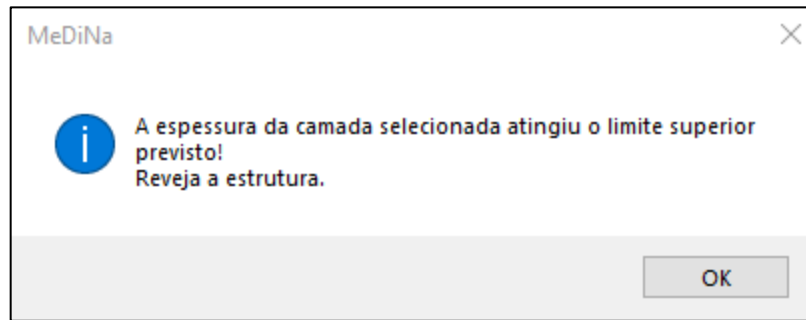
Figura 14 – Botão Dimensionar

Análise	Ajuda
Dimensionar	F2
Avaliar a estrutura	F3
Tensões e Deformações no AEMC	
Resultados	Ctrl+R

Fonte: *Software* MeDiNa.

O *software* calcula a espessura necessária para a camada selecionada suportar o tráfego imposto, de acordo com os materiais e espessuras das outras camadas que foram pré-dimensionadas. Se os materiais ou espessuras das mesmas forem insuficientes, a camada que está sendo dimensionada atingirá o seu limite e o *software* não conseguirá concluir o dimensionamento, exibindo um alerta, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Alerta de limite de espessura



Fonte: *Software MeDiNa*.

O dimensionamento prossegue fazendo esses ajustes de materiais e espessuras até que sejam atendidos os critérios de parada do dimensionamento, listados na Tabela 7, tabela esta que foi obtida no manual de utilização do *software*.

Tabela 7 – Critérios de parada de dimensionamento do MeDiNa

TIPO DE VIA	CONFIABILIDADE	ÁREA TRINCADA	DEF. PERMANENTE
Sistema Arterial Principal	95%	30%	10mm
Sistema Arterial Primário	85%	30%	13mm
Sistema Arterial Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Coletor Primário	85%	30%	13mm
Sistema Coletor Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Local	65%	30%	20mm

Fonte: IPR; DNIT (2020, p. 73).

Os resultados são listados de forma semelhante como o apresentado no tópico anterior (ver Figuras 9 e 12).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com base nas informações citadas no capítulo 3, sendo estes: estrutura obtida por meio do método DNER, análise feita pelo MeDiNa a respeito da estrutura anterior, estrutura obtida por meio do método MeDiNa, comparativo entre essas estruturas, e por fim um confronto com resultados obtidos na literatura recente.

4.1 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DNER

A seguir são apresentados os resultados obtidos por meio dos dados disponíveis no projeto executivo, para o dimensionamento através do método do DNER.

- Definição do índice de suporte do subleito: o índice foi determinado com o valor do CBR do subleito e do índice de grupo, indicados nos estudos geotécnicos. Portanto, temos:

$$\text{CBR} = 10\%, \text{ logo } IS_{\text{CBR}} = 10$$

$$IG = 0, \text{ logo } IS_{IG} = 20 \text{ (Figura 16, ver Tabela 4).}$$

Figura 16 – Determinação do índice de suporte para o índice de grupo

Índice de Grupo (IG)	Índice de Suporte (IS _{IG})
0	20

Fonte: SOUZA (1981, p. 7)

$$IS_{\text{subleito}} = \frac{IS_{\text{CBR}} + IS_{IG}}{2} = \frac{10 + 20}{2} = 15$$

$$IS_{\text{subleito}} = 10$$

Como o resultado foi maior que CBR, o valor do IS_{subleito} é igual a 10.

- Definição do tipo e espessura da camada de revestimento: com base nas informações contidas no estudo de tráfego do projeto, tem-se:

- Segmento 1 $N=1,2 \times 10^8$

- Segmento 3 $N=5,4 \times 10^7$

Conforme a Figura 17 (ver Tabela 5), ambos os segmentos vão necessitar de um revestimento de concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura.

Figura 17 – Determinação do tipo e espessura da camada de revestimento

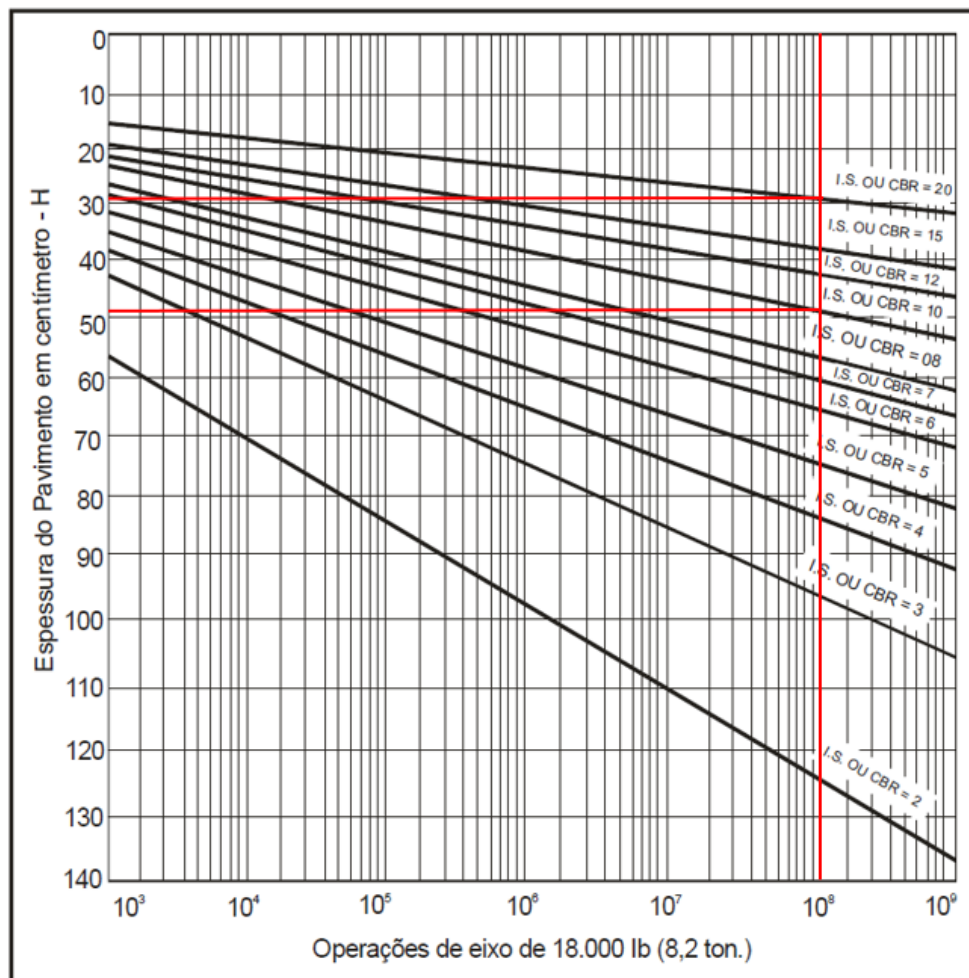
N	Revestimento Betuminoso	Espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso	12,5 cm

Fonte: SOUZA (1981, p. 16)

- Determinação das espessuras utilizando o ábaco: a seguir temos as espessuras totais obtidas a partir do ábaco, do número N e dos valores do CBR das camadas. A Figura 18 apresenta a determinação das espessuras para o segmento 1, assim como a Figura 19 apresenta as espessuras referente ao segmento 3.

Segmento 1: $N_{10} = 1,2 \times 10^8$ e $CBR_{SL} = 10$ Ábaco: $H_{10} = 48$ cm
 $N_{10} = 1,2 \times 10^8$ e $CBR_{SB} = 20$ Ábaco: $H_{20} = 29$ cm

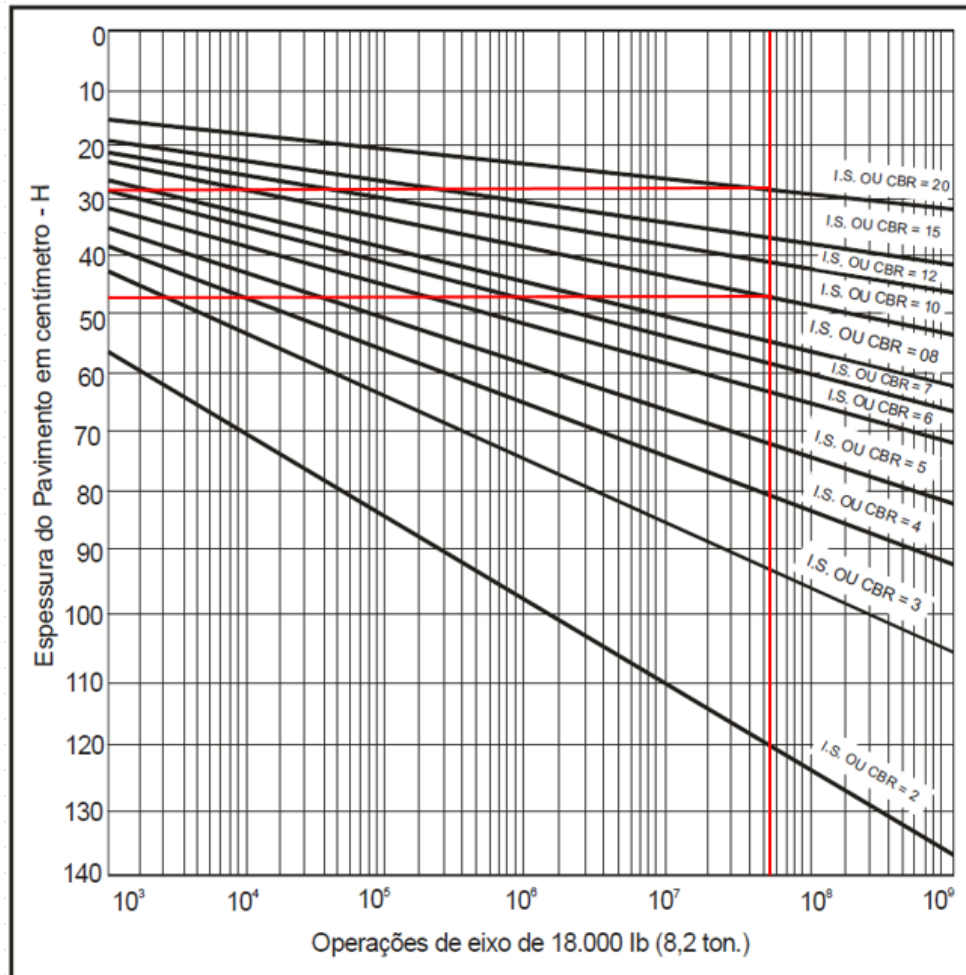
Figura 18 – Determinação das espessuras segmento 1



Fonte: Elaborado pelos autores.

Segmento 3: $N_{10} = 5,4 \times 10^7$ e $CBR_{SL} = 10$ Ábaco: $H_{10} = 46$ cm
 $N_{10} = 5,4 \times 10^7$ e $CBR_{SB} = 20$ Ábaco: $H_{20} = 28$ cm

Figura 19 – Determinação das espessuras segmento 3



Fonte: Elaborado pelos autores.

O dimensionamento para este projeto foi finalizado somente com as camadas de base e sub-base.

- Determinação dos coeficientes de equivalência estrutural: de acordo com a Tabela 6, temos:

$$K_R = 2,00$$

$$K_B = 1,00$$

$$K_S = 1,00$$

- Determinação das espessuras das camadas:

Segmento 1:

$$RK_R + BK_B \geq H_{20}$$

$$12,5 * 2 + B * 1 \geq 29$$

$$B = 4 \text{ cm}$$

Logo B=15 cm (espessura da base, mínimo para a camada).

$$RK_R + BK_B + h_{20}Ks \geq H_n$$

$$12,5 * 2 + 15,0 * 1 + h_{20} * 1 \geq 48$$

$$h_{20} = 8 \text{ cm}$$

Logo h₂₀=15 cm (espessura da sub-base, mínimo para a camada).

Segmento 3:

$$RK_R + BK_B \geq H_{20}$$

$$12,5 * 2 + B * 1 \geq 28$$

$$B = 3 \text{ cm}$$

Logo B=15 cm (espessura da base, mínimo para a camada).

$$RK_R + BK_B + h_{20}Ks \geq H_n$$

$$12,5 * 2 + 15,0 * 1 + h_{20} * 1 \geq 46$$

$$h_{20} = 6 \text{ cm}$$

Logo h₂₀=15 cm (espessura da sub-base, mínimo para a camada).

- Estrutura final para ambos os segmentos:

- Revestimento = 12,5 cm

- Base = 15cm

- Sub-base = 15cm

O segmento 1 possui um $N=1,2 \times 10^8$, enquanto o segmento 3 possui um $N=5,4 \times 10^7$, ou seja, o segmento 1 possui mais que o dobro da carga de tráfego previsto do que para o segmento 3. O método do DNER, ao aplicar a mesma estrutura para ambos os segmentos, comprova uma de suas principais deficiências: não é adequado para o dimensionamento de rodovias que possuem elevados tráfegos.

Chiarello *et al.* (2019) alertaram quanto a essa questão ao lembrar que o método em questão foi adaptado na década de 60, quando a frota de veículos era menor tanto em peso quanto em volume, e que não houve grandes atualizações diante disso, reforçando o quanto o dimensionamento de pavimentos necessita de reformulações que considere os atuais cenários de solicitações de carga.

4.2 ANÁLISE DA ESTRUTURA NO MEDINA

De posse das informações de projeto referentes aos materiais e espessuras das camadas, seguiu-se com a análise da estrutura dimensionada pelo método do DNER. A determinação do número N por meio do MeDiNa é obtida de forma semelhante ao método DNER, porém conta com algumas particularidades quanto à forma como essa solicitação dos dados é feita. Portanto, para esta análise e para o dimensionamento por meio do MeDiNa, foram inseridos os valores finais de número N obtidos através do método DNER, para ambos os segmentos, conforme indicado no anexo A, não sendo utilizado o cálculo pelo *software*. A seguir é ilustrado a maneira como foram inseridos os dados de tráfego no *software* para obtenção do número N, sendo a Figura 20 para o segmento 1 e a Figura 21 para o segmento 3.

Figura 20 – dados de tráfego segmento 1

+ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
- DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	9800
FV:	2,917
N anual (1º ano):	1,04e+07
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	1,04e+07
Taxa de crescimento (%):	3,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	1,20e+08

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Figura 21 – dados de tráfego segmento 3

+ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
- DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	5854
FV:	2,206
N anual (1º ano):	4,71e+06
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	4,71e+06
Taxa de crescimento (%):	3,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	5,40e+07

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

O estudo de jazidas disponibilizado no documento do projeto executivo, incluído no anexo A, apresenta apenas os dados que são pertinentes ao dimensionamento do

método DNER. Informações como módulo de resiliência, coeficiente do Poisson e deformação permanente, que são solicitadas pelo MeDiNa, são obtidas por meio de outros ensaios e estudos.

Diante disso, para se prosseguir com a análise, buscou-se utilizar os dados, referentes aos materiais das camadas, de acordo com a literatura; porém esses dados se mostraram insuficientes quanto aos solicitados pelo MeDiNa. Por conta dessa falta de informações, optou-se por se fazer uma compatibilização dos materiais presentes nas jazidas estudadas ao longo da BR-316 (Anexo A) com os materiais disponíveis no banco de dados do MeDiNa. Essa alternativa deve trazer imprecisões aos resultados, mas foi a solução encontrada devido ao fato de não haver condições de se realizar os ensaios necessários, seja por conta da dificuldade de acesso aos laboratórios em função da pandemia do coronavírus, ou devido a indisponibilidade dos materiais, prensas e equipamentos essenciais.

Pitangui (2019) lembra que o MeDiNa deve exigir uma mudança de comportamento quanto ao dimensionamento de pavimentos, visto que as informações que são solicitadas pelo *software* necessitam de muito mais ensaios e estudos a respeito dos materiais. Essas mudanças de paradigma podem se tornar um dos maiores entraves contra a popularização do MeDiNa, visto que o ensaio básico para o dimensionamento por meio do método DNER, o CBR, é simples e bastante difundido.

Sendo assim, a Tabela 8 apresenta essa compatibilização, onde foram selecionados os materiais do banco de dados do MeDiNa que mais se assemelhavam aos materiais estudados das jazidas.

Tabela 8 – Correlação dos materiais das camadas com o MeDiNa

Camada	Espessura (cm)	Material	Class. TRB	Camada MeDiNa	Tipo MeDiNa
Revestimento	12,5	CBUQ Faixa "C" CAP 50/70	-	Concreto Asfáltico	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba
Base	15	Estabilizada granulometricamente sem mistura	A-2-4	Solo fino, siltoso ou argiloso	Solo Areno-argiloso LG'(2)
Sub-base	15	Estabilizada granulometricamente sem mistura	A-2-4	Solo fino, siltoso ou argiloso	Solo Areno-argiloso LG'(2)
Subleito	-	CBR de 10%	A-2-4	Subleito	Solo Siltoso NS'

Fonte: elaborado pelos autores.

Com base nas devidas correlações dos materiais, foram inseridas as informações referentes às camadas na tabela da estrutura, conforme o apresentado na Figura 22, para o segmento 1, e na Figura 23, para o segmento 3.

Figura 22 – Estrutura segmento 1

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	12,5	8289	0,30
2	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Figura 23 – Estrutura segmento 3

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	12,5	8289	0,30
2	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

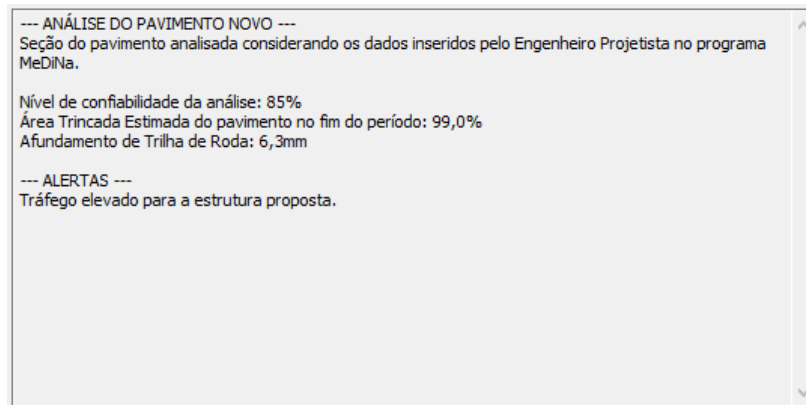
Com as devidas estruturas modeladas, a análise pôde ser executada. Os resultados são expostos na Figura 24, para o segmento 1, e Figura 25 para o segmento 3.

Figura 24 – Resultados da análise do segmento 1.

<p>--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.</p> <p>Nível de confiabilidade da análise: 85% Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 99,0% Afundamento de Trilha de Roda: 6,6mm</p> <p>--- ALERTAS --- Tráfego elevado para a estrutura proposta.</p>

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Figura 25 – Resultados da análise do segmento 3.



Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Para ambos os segmentos o MeDiNa informa que o rompimento do pavimento é previsto antes mesmo do período de projeto, sendo que ao fim dos 10 anos apresentará uma área trincada de 99,0%, sendo que o limite estipulado é de no máximo 30% (ver Tabela 7 – Critérios de parada de dimensionamento do MeDiNa). Quanto ao afundamento de trilha de roda (ATR), calculou-se 6,6 mm para o segmento 1 e 6,3 mm para o segmento 3, valores que atendem o critério de parada de 13 mm.

A elevada porcentagem de área trincada reforça o quanto o dimensionamento pelo método do DNER é ineficiente em proteger a estrutura quanto aos efeitos da fadiga, por outro lado, o baixo afundamento de trilha de roda confirma que o método protege o subleito contra a deformação plástica.

A aba “Resultados/Danos mensais” cujo os resultados estão indicados na Figura 26, para o segmento 1, e Figura 27, para o segmento 3, apresenta ainda um detalhamento mensal no qual é possível determinar em quantos meses se atingirá o limite de área trincada. Para o segmento 1 este limite será atingido já no 9º mês (Figura 26) e para o segmento 3 o limite de área trincada será no 20º mês (Figura 27), valores muito menores do que os 120 meses previstos para a vida útil do projeto. Além disso, tem-se o número N equivalente e o avanço do afundamento de trilha de roda (ATR).

Figura 26 – Resultados/danos mensais segmento 1.

ESTRUTURA		MODELAGEM		RESULTADOS	
Danos Mensais		ATR		Bacias de campo	
		Completo			
Mês	N equiv	ÁREA TRINCADA (%)	ATR (mm)		
1	8,632e+05	3,79%	4,94		
2	1,729e+06	5,90%	5,15		
3	2,596e+06	8,23%	5,27		
4	3,466e+06	10,95%	5,37		
5	4,337e+06	14,12%	5,44		
6	5,211e+06	17,80%	5,50		
7	6,087e+06	21,99%	5,55		
8	6,965e+06	26,67%	5,60		
9	7,846e+06	31,80%	5,64		

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

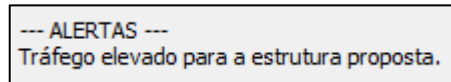
Figura 27 – Resultados/danos mensais segmento 3

Mês	N equiv	ÁREA TRINCADA (%)	ATR (mm)		
1	3,872e+05	2,55%	4,70		
2	7,754e+05	3,57%	4,90		
3	1,164e+06	4,52%	5,03		
4	1,555e+06	5,47%	5,11		
5	1,946e+06	6,46%	5,18		
6	2,338e+06	7,50%	5,24		
7	2,731e+06	8,63%	5,29		
8	3,125e+06	9,83%	5,33		
9	3,519e+06	11,13%	5,37		
10	3,915e+06	12,53%	5,41		
11	4,312e+06	14,02%	5,44		
12	4,710e+06	15,63%	5,47		
13	5,109e+06	17,34%	5,49		
14	5,509e+06	19,16%	5,52		
15	5,909e+06	21,10%	5,54		
16	6,311e+06	23,14%	5,56		
17	6,714e+06	25,28%	5,59		
18	7,118e+06	27,53%	5,61		
19	7,522e+06	29,87%	5,62		
20	7,928e+06	32,30%	5,64		

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Segundo os dados resultantes da análise do MeDiNa, a estrutura dimensionada com uma camada de revestimento de 12,5 cm e base e sub-base de 15 cm, com os materiais determinados pelo projeto, para completar os 10 anos de projeto em condições aceitáveis (no máximo 30% de área trincada, conforme o manual do MeDiNa) deveria possuir no máximo um tráfego de aproximadamente $7,5 \times 10^6$, ou seja, somente 6,25% do tráfego previsto para o segmento 1, de $1,2 \times 10^8$, ou 13,9% do previsto para o segmento 3, de $5,4 \times 10^7$. Estas informações são destacadas pelos resultados no *software* MeDiNa, em ambos os segmentos, indicando que esse tráfego é elevado para a estrutura, conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 28 – Alerta de tráfego elevado do software MeDiNa



Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Com base nos dados citados acima observa-se que o MeDiNa considera esta estrutura bem abaixo do ideal para o nível de tráfego esperado. Para este método, os materiais e espessuras escolhidos resultaram em uma estrutura que com pouco tempo após sua conclusão necessitará de atividades de manutenção e reabilitação.

4.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA NO MEDINA

Por se observar que a estrutura dimensionada por meio do método do DNER não atende aos critérios mínimos exigidos pelo MeDiNa, um novo dimensionamento foi realizado.

Os materiais escolhidos para compor a estrutura no dimensionamento do DNER, de acordo com a análise feita através do MeDiNa, são muito deformáveis, resultando em um elevado nível de trincas com apenas alguns meses, portanto, para este novo dimensionamento buscou-se utilizar materiais mais rígidos para se vencer o elevado tráfego previsto para a rodovia. Andrade (2017) diz que, adotando-se camadas de base ou sub-base de maior rigidez, as tensões na camada de revestimento são reduzidas, diminuindo-se também as deflexões e prolongando assim a vida útil dos revestimentos asfálticos.

Sendo assim, optou-se por alterar a camada de base para um material mais nobre, neste caso uma base em solo-cimento, aumentando assim o módulo de resiliência da camada e por consequência a sua rigidez. Também por conta disso foi necessário se alterar o material da camada de sub-base, para um material cujo o módulo de resiliência fosse um pouco maior, visto que o anterior acarretou em uma elevada deflexão. O próprio *software* sugere nesses casos a alteração do material da camada para um de melhor qualidade.

A estrutura foi dimensionada restringindo-se as espessuras do revestimento e da sub-base, em 12,5 cm e 15 cm respectivamente, onde a camada de solo-cimento foi selecionada para ser dimensionada. A Figura 29 apresenta a estrutura final obtida

para o segmento 1, assim como a Figura 30 apresenta a estrutura final do segmento 3.

Figura 29 – Estrutura para o dimensionamento do segmento 1.

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	12,5	8289	0,30
>> 2 <<	SOLO CIMENTO	Ceratti, 1991 (mistura 5)	22,5	Sigmoidal	0,25
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG(5)	15,0	393	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Figura 30 – Estrutura para o dimensionamento do segmento 3.

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	12,5	8289	0,30
>> 2 <<	SOLO CIMENTO	Ceratti, 1991 (mistura 5)	17,5	Sigmoidal	0,25
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG(5)	15,0	393	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

O módulo de resiliência intitulado “Sigmoidal” para a camada de solo-cimento, representa um módulo que a partir de um valor inicial (E_i) decai com o acúmulo de fadiga na camada até o valor final, segundo a curva Sigmoidal (IPR; DNIT, 2020). Neste caso o módulo inicial é de 9230 MPa e o final é igual a 9227 MPa.

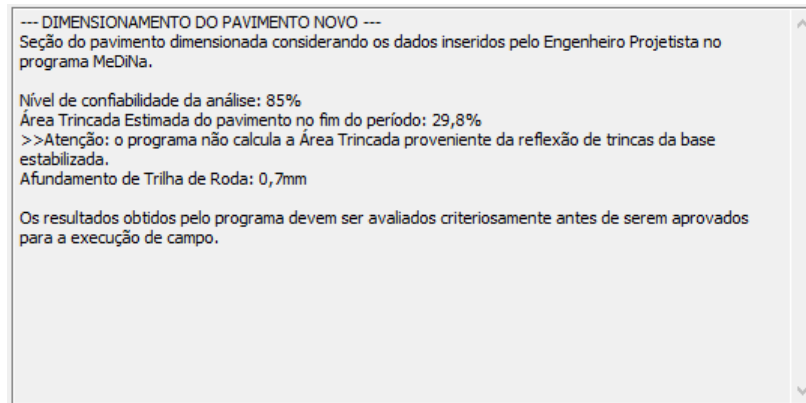
A seguir são apresentados os quadros de resultados, sendo a Figura 31 para o segmento 1 ($N=1,2 \times 10^8$) com uma camada de solo-cimento de 22,5 cm, 29,8% de área trincada e 0,7 mm de ATR; e a Figura 32 para o segmento 3 ($N=5,4 \times 10^7$) com uma camada de solo-cimento de 17,5 cm, 29,8% de área trincada e 0,7 mm de ATR.

Figura 31 – Resultados do dimensionamento do segmento 1.

<p>--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.</p> <p>Nível de confiabilidade da análise: 85% Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 29,9% >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada. Afundamento de Trilha de Roda: 0,5mm</p> <p>Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.</p>

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Figura 32 – Resultados do dimensionamento do segmento 3.



Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

A estrutura dimensionada, substituindo-se os materiais de base e sub-base para materiais mais rígidos, atendeu aos critérios de parada do MeDiNa de forma eficiente. Tanto a estrutura do segmento 1, que resultou em uma base de 22,5 cm, quanto a estrutura para o segmento 3, que resultou em uma base com 17,5 cm de espessura, apresentaram baixo afundamento de trilha de roda e baixo percentual de estimativa de área trincada ao final dos 10 anos de projeto, ou seja, são bastante eficientes.

Definida a estrutura, foi realizada uma análise dos materiais das jazidas estudadas ao longo da BR-316 (Ver Anexo A) quanto à possibilidade de tais materiais serem empregados na execução de bases de solo-cimento, onde a norma 143/2010 do DNIT especifica as características que os solos devem apresentar. A seguir é exposto na Tabela 9, em um primeiro momento, os critérios da norma e em seguida os dados das jazidas.

Tabela 9 – Análise dos materiais de jazidas para uso como solo-cimento

Critério da norma	Peneiras				Limite de liquidez	Índice de plasticidade
	2 1/2"	Nº 4	Nº 40	Nº 200		
	100%	50 a 100%	15 a 100%	5 a 35%	máx. 40%	máx. 18%
JAZIDA 03	100%	59%	41%	22%	30%	9%
JAZIDA 04-A	100%	56%	39%	20%	29%	8%
JAZIDA 04-B	100%	52%	37%	18%	28%	7%
JAZIDA 06	100%	59%	42%	23%	30%	8%

Fonte: elaborado pelos autores, com dados do projeto executivo.

Portanto, os materiais de todas as jazidas estudadas estão aptos a serem utilizados para compor camadas de solo-cimento, visto que atendem aos critérios exigidos por norma.

Uma alternativa para o dimensionamento que o MeDiNa considera eficiente, para ambos os segmentos, seria a redução da camada de revestimento para apenas 5 cm de espessura e uma camada de base de solo-cimento de 16,5 cm para o segmento 1, Figura 33, e 18cm para o segmento 3, Figura 34.

Figura 33 – Estrutura alternativa dimensionada para o segmento 1

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	5,0	8289	0,30
2	SOLO CIMENTO	Ceratti, 1991 (mistura 5)	18,0	Sigmoidal	0,25
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(5)	15,0	393	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Figura 34 – Estrutura alternativa dimensionada para o segmento 3

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	5,0	8289	0,30
2	SOLO CIMENTO	Ceratti, 1991 (mistura 5)	16,5	Sigmoidal	0,25
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(5)	15,0	393	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

No método do DNER o tipo e a espessura da camada de revestimento são determinados exclusivamente em função do número N, conforme a Tabela 5 do tópico 3.3, não importando quais sejam os materiais e espessuras das camadas inferiores. O MeDiNa, por outro lado, faz a análise conjunta da estrutura, onde os materiais e espessuras escolhidos para as camadas inferiores são determinantes para se dimensionar a camada de revestimento, podendo assim ocasionar resultados como o encontrado neste dimensionamento alternativo.

Conforme afirma Silva *et al.* (2016), as camadas do pavimento trabalham de forma conjunta, e que, portanto, se faz necessário evitar elevados gradientes de módulos de resiliência entre as camadas, a fim de se obter uma maior compatibilidade de rigidez entre os materiais; observando que as espessuras das camadas também influenciam na rigidez, onde esse conjunto é denominado rigidez relativa.

Balbo (2007) diz que quando camadas asfálticas estão apoiadas sobre bases de maior rigidez ficam submetidas somente a esforços de compressão, sendo assim a linha neutra deixa de existir na camada. Uma base mais rígida, como solo-cimento, incorpora a característica que era do revestimento, ou seja, há a presença da linha neutra, compressão no topo e tração no fundo da camada. Uma vez que o concreto asfáltico não está mais sendo tracionado o MeDiNa possibilita a redução da espessura.

Contudo há preocupação sobre o quanto um revestimento tão delgado pode suportar de desgaste causado, ao longo dos 10 anos de projeto, pelo tráfego elevado; como também se haverá a devida proteção das camadas inferiores quanto à impermeabilização. Além disso, o próprio MeDiNa informa (ver Figura 31 e Figura 32) que o programa não calcula a área trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada. Por conta disso, para esta pesquisa, serão utilizados para fins comparativos os resultados mais conservadores do dimensionamento principal, indicados nas Figura 29 e Figura 30.

4.4 COMPARATIVO DNER X MEDINA

Os resultados obtidos por meio dos dois métodos apresentaram grandes diferenças. Ao se analisar a estrutura estabelecida no método DNER, por meio do MeDiNa, foi constatado que a não se atingirá o período de projeto em condições aceitáveis (para os critérios exigidos pelo MeDiNa), portanto a solução encontrada foi a substituição dos materiais das camadas, porém, além da disso houve mudanças nas espessuras.

O material da camada de base, que anteriormente era constituído por um solo areno-argiloso com 15,0 cm de espessura, foi substituído pela mistura solo-cimento, um material mais nobre, para atender ao elevado carregamento que solicita a estrutura, com espessura de 22,5 cm para o segmento 1 e 17,5 cm para o segmento 3; e por conta disso, se fez necessário também alterar o material da camada de sub-base, sendo a escolha um solo com M_R mais elevado, mantendo-se os 15,0 cm. A camada de revestimento foi mantida com espessura de 12,5 cm por conta do tráfego elevado previsto para ambos os trechos.

Na Tabela 10 é apresentado o resumo comparativo entre as estruturas obtidas por meio dos dois métodos.

Tabela 10 – Comparativo entre as estruturas definidas pelos métodos.

		DNER		MeDiNa	
		Segmento 1	Segmento 3	Segmento 1	Segmento 3
Revestimento	Material	CAP 50/70	CAP 50/70	CAP 50/70	CAP 50/70
	Espessura (cm)	12,5	12,5	12,5	12,5
	Módulo de Resiliência (Mpa)	8.289	8.289	8.289	8.289
	Coefficiente de Poisson	0,30	0,30	0,30	0,30
Base	Material	Solo Areno-argiloso	Solo Areno-argiloso	Mistura Solo Cimento	Mistura Solo Cimento
	Espessura (cm)	15,0	15,0	22,5	17,5
	Módulo de Resiliência (Mpa)	248	248	Sigmoidal 9230-9227	Sigmoidal 9230-9227
	Coefficiente de Poisson	0,45	0,45	0,25	0,25
Sub-base	Material	Solo Areno-argiloso	Solo Areno-argiloso	Solo Argiloso	Solo Argiloso
	Espessura (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0
	Módulo de Resiliência (Mpa)	248	248	393	393
	Coefficiente de Poisson	0,45	0,45	0,45	0,45

Fonte: elaborado pelos autores.

A camada de revestimento manteve-se inalterada, a espessura foi restringida e o material constituinte foi mantido. Na camada de base houve o maior impacto: a alteração para uma base de solo-cimento resultou em um aumento expressivo do módulo de resiliência, que antes era de apenas 248 MPa e passou a ser 9227 MPa, já por outro lado coeficiente de Poisson foi reduzido. E por fim a camada de sub-base, que necessitou de apenas uma elevação no módulo de resiliência.

Os materiais utilizados para se realizar a análise por meio do MeDiNa, como dito anteriormente, não puderam ser ensaiados de forma completa, resultando na

opção pela compatibilização dos materiais, o que certamente está ocasionando algumas imprecisões nos resultados desta análise. Contudo, essa circunstância não interfere na tendência central dos resultados, onde a carga de tráfego prevista é elevada para a estrutura proposta, tornando a opção por camadas cimentadas uma solução interessante.

Na Tabela 11 apresentam-se comparações entre os resultados obtidos. No dimensionamento do MeDiNa houve uma diminuição considerável na porcentagem de área trinca estimada e o afundamento de trilha de roda também diminuiu, ou seja, o método tende a proteger melhor o pavimento dos principais defeitos estruturais representados pelo processo de trincamento por fadiga, oriundo da repetição de deformações elásticas, e da deformação permanente, resultante do acúmulo de deformações plásticas.

Tabela 11 – Análise feita através do MeDiNa para as duas estruturas

	DNER		MeDiNa	
	Segmento 1	Segmento 3	Segmento 1	Segmento 3
	Análise MeDiNa		Dimensionamento MeDiNa	
Área Trincada Estimada	99,0%	99,0%	29,9%	29,8%
Afundamento de Trilha de Roda	6,6mm	6,3mm	0,5mm	0,7mm
Alertas	Tráfego elevado para a estrutura proposta.	Tráfego elevado para a estrutura proposta.	-	-

Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 12 apresenta um comparativo financeiro, para as estruturas determinadas pelos métodos, que foi estabelecido com base nos dados do sistema de custos referenciais de obras (SICRO), com preços de referência para o estado do Pará, de janeiro de 2021. Os quantitativos foram determinados para a execução de 1 km da rodovia, de acordo com a espessura das camadas e para uma largura de 7 m; para o revestimento foi adotado uma densidade de 2,4 t/m³. O custo por quilômetro (R\$/Km) de cada estrutura foi determinado pela média aritmética entre os custos de cada segmento.

Tabela 12 – Comparativo financeiro

Item SICRO	Descrição	Espessura (cm)	Unidade	Quantidade	Preço Unit. (R\$)	Custo (R\$/km)
	Estrutura DNER					286.324,50
	Segmento 1					286.324,50
4011463	Revestimento	12,5	t/Km	2.100,00	128,34	269.514,00
4011221	Base	15,0	m³/Km	1.050,00	8,12	8.526,00
4011228	Sub-Base	15,0	m³/Km	1.050,00	7,89	8.284,50
	Segmento 3					286.324,50
4011463	Revestimento	12,5	t/Km	2.100,00	128,34	269.514,00
4011221	Base	15,0	m³/Km	1.050,00	8,12	8.526,00
4011228	Sub-Base	15,0	m³/Km	1.050,00	7,89	8.284,50
	Estrutura MeDiNa					404.008,50
	Segmento 1					419.784,75
4011463	Revestimento	12,5	t/Km	2.100,00	128,34	269.514,00
4011313	Base solo-cimento	22,5	m³/Km	1.575,00	90,15	141.986,25
4011228	Sub-Base	15,0	m³/Km	1.050,00	7,89	8.284,50
	Segmento 3					388.232,25
4011463	Revestimento	12,5	t/Km	2.100,00	128,34	269.514,00
4011313	Base solo-cimento	17,5	m³/Km	1.225,00	90,15	110.433,75
4011228	Sub-Base	15,0	m³/Km	1.050,00	7,89	8.284,50

Fonte: elaborado pelos autores.

A construção da estrutura de pavimento definida por meio do método MeDiNa se mostrou mais cara, cerca de 41%, contudo, ao se considerar que a estrutura dimensionada pelo MeDiNa necessitará de manutenções pontuais ao longo dos 10 anos e que a do DNER precisará além de mais manutenções, possíveis restaurações e reconstruções, o elevado custo surge como um investimento, onde os ganhos serão destinados ao usuário final, que terá bem menos transtornos causados pelas interrupções na via.

4.5 CONFRONTO DE RESULTADOS COM A LITERATURA RECENTE

Os resultados encontrados no presente trabalho, quando comparados com os da literatura recente corroboram as informações atestadas por Pitangui (2019) e Chiarello *et al.* (2019), os quais afirmam que as estruturas dimensionadas por meio do método do DNER não suportariam o tempo estimado de projeto, no que diz respeito a porcentagem de área trincada.

Ainda sobre os resultados, tanto Pitangui (2019) e Chiarello *et al.* (2019) mantêm os materiais e espessuras das camadas de base e sub-base, alterando apenas a espessura da camada de pavimento asfáltico, que em sua maioria ficaram

bem maiores que as espessuras dimensionadas pelo método do DNER. Ao se utilizar desse mesmo processo para dimensionar este projeto da BR-316, o resultado foi semelhante, como o constatado na Figura 35 para o segmento 1, onde o revestimento apresentou uma espessura total de 25,7 cm, e na Figura 36 para o segmento 3, que resultou num revestimento total de 22,3 cm.

Figura 35 – Estrutura alternativa (2) dimensionada para o segmento 1

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	13,2	8289	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	12,5	8289	0,30
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
4	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Figura 36 – Estrutura alternativa (2) dimensionada para o segmento 3

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	9,8	8289	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	12,5	8289	0,30
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
4	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	15,0	248	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

Fonte: elaborado pelos autores, com auxílio do *software* MeDiNa.

Em contrapartida, os resultados encontrados por Silva (2018) apontam os dois dimensionamentos como satisfatórios para a rodovia analisada. Contudo, o mesmo afirma que o MeDiNa otimizaria as espessuras das camadas, resultando em uma maior economia na construção da rodovia, visto que os valores de base e sub-base dimensionados pelo método do DNER foram, respectivamente, 20 cm e 15 cm enquanto os valores dimensionados pelo MeDiNa foram 10cm de base e sub-base (o revestimento asfáltico manteve-se em 5 cm), que é o valor mínimo admitido pelo *software*. Tais resultados encontrados por Silva (2018) podem ser explicados devido à baixa carga de tráfego ($N=1,3 \times 10^6$) que a estrutura da rodovia AL-145 está submetida, quando comparado da estudada nesta pesquisa.

Além de valores mínimos admitidos o *software* alerta quando o material não satisfaz a deflexão limite, sendo assim necessário a análise do projetista para a troca de material. Caso que ocorreu em Pitangui (2019), na análise para a BR-104 PE, em que o dimensionamento pelo método do DNER satisfaz a análise do MeDiNa no que diz respeito ao afundamento de trilha de roda e a porcentagem de área trincada

estimada. Entretanto, houve um alerta que indicou que na camada de suporte (camada de base) de material estabilizado houve uma deflexão maior que o limite, sendo necessária adaptações. Para obter os resultados deste trabalho, optou-se por adaptar os materiais de base e sub-base, assim como Pintangui (2019), para atender o carregamento solicitante à estrutura sem que deflexão ultrapassasse o limite.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa tem por objetivo estabelecer uma comparação do método de dimensionamento vigente do DNIT (DNER) com o novo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa) que realiza verificações mecanístico-empíricas, mostrando as principais diferenças entre eles, por meio da comparação dos resultados obtidos. Para isso, optou-se pela realização da análise do projeto da duplicação da rodovia federal BR-316/PA.

Dentro das informações alcançadas neste trabalho os autores chegaram as seguintes conclusões:

- a) Mesmo o segmento 1 possuindo mais que o dobro da carga de tráfego do segmento 3, o dimensionamento pelo método do DNER apresentou a mesma estrutura final para ambos os segmentos, comprovando que o método não é adequado para dimensionar rodovias com elevados tráfegos;
- b) O número N equivalente que representa o tráfego, também é um valor importante para os dimensionamentos, uma vez que o considera para carga estimada. Com isso o MeDiNa indica resultados por danos de fadiga, por meio da porcentagem de área trincada estimada para o fim do período de projeto;
- c) A caracterização dos materiais exigida pelo método MeDiNa é um fator determinante para a não popularização do novo método que exige o conhecimento de dados mais detalhados como, o módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson, necessitando de equipamentos ainda escassos em todo o território nacional. Já para o método do DNER o ponto de partida é o CBR, que pode ser determinado por um ensaio de certa forma simples e bastante difundido;
- d) Ao se analisar a estrutura dimensionada pelo método DNER, por meio da ferramenta de análise do MeDiNa, encontrou-se uma porcentagem de área trincada de 99%, no entanto os valores referentes a deformação permanente informado pelo afundamento de trilha de roda são considerados baixos. A elevada porcentagem de área trincada reforça o quanto o dimensionamento pelo método do DNER é ineficiente em proteger a estrutura quanto aos efeitos

da fadiga. Por outro lado, o baixo afundamento de trilha de roda confirma que o método protege o subleito contra a deformação plástica de maneira eficiente;

- e) Os materiais selecionados para compor a estrutura determinada por meio do método do DNER não atenderam os critérios exigidos pelo MeDiNa, visto que eles são muito deformáveis, assim a repetição de deformações elásticas faz o pavimento ter uma alta porcentagem de área trincada. Por conta disso alterou-se o material da base afim de se enrijecer a estrutura e o resultado foi satisfatório, visto o prolongamento previsto de vida útil;
- f) Existem diferenças significativas nos métodos de dimensionamentos estudados. No atual método os problemas de fadiga e área trincada não são avaliados e nem previstos durante a vida útil do projeto, o que é uma característica extremamente importante para o método mecanístico-empírico, visto que o MeDiNa apresenta curvas de fadiga e de deformação permanente para diversos materiais e consegue fazer uma avaliação de desempenho mais acertada e menos empírica;
- g) Em relação ao custo, quando tomado como base os custos do SICRO, o MeDiNa teve um aumento de 41% para a execução de cada quilometro de obra, quando comparado com o método do DNER. Em contrapartida o MeDiNa prolongou consideravelmente a vida útil prevista para a rodovia, resultando gastos mínimos com manutenção, diferentemente do DNER que provoca comprovadamente altos custos de manutenção e ainda possíveis restaurações e reconstruções. Entretanto, caso não haja os cuidados com a qualidade dos materiais na execução das camadas de base, sub-base e revestimento até os melhores métodos de dimensionamento não seriam o suficiente para que a estrutura alcance o tempo previsto da obra. Vale salientar que os projetos de drenagem também são de extrema importância para que a vida útil do pavimento seja prolongada.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Portanto, além das conclusões obtidas com este trabalho, para posteriores pesquisas sugere-se, um estudo mais detalhado sobre a determinação do número N

por meio do próprio software do MeDiNa, assim como também a utilização de ensaios mais completos dos materiais a serem utilizados para o dimensionamento, além de um estudo a fim de verificar a sensibilidade do MeDiNa quanto a variação do Modulo de Resiliência dos materiais de todas as camadas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Lucas Rodrigues de. **Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes asfálticos para tráfego muito pesado**. 2017. 178 f. Dissertação (Doutorado) – Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- 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 Tabaí/RS**. Departamento de Transportes, Universidade Federal de Santa Maria, 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?**. Brasília, 2017.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES-CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2019: relatório gerencial**. Brasília: CNT : SEST : SENAT, 2019.
- COUTINHO, João Camilo Penna. **Dimensionamento de pavimento asfáltico: comparação do método do DNER com um método mecanístico-empírico aplicada a um trecho**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.
- CUNTO, Flávio José Craveiro. **Determinação do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais dinâmicos e a sua estimativa a partir de ensaios de compressão simples: estudo de três solos do nordeste brasileiro**. 1998. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 134/2018-ME: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 135/2018 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 143/2010 - ES: Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010.
- DNIT. **Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO**. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro/norte/para/2021/janeiro/janeiro-2021>>. Acesso em: 30 de maio de 2021.
- DNIT inicia as obras de duplicação de 45 quilômetros da BR-316/PA. **DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**, 2020.

Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-inicia-as-obras-de-duplicacao-de-45-quilometros-da-br-316-pa>> Acesso em: 25 de maio de 2021.

ESTADÃO; SUMMIT Mobilidade Urbana 2021. **Malha hídrica no Brasil: estudo revela grande potencial de uso.** 2019. Disponível em: <<https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/malha-hidrica-no-brasil-estudo-revela-grande-potencial-de-uso/>>. Acesso em: 04 de junho de 2021.

FEDERATIVA, Republica e BRASIL, D O e TRANSPORTES, Ministerio D O S. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Superintendência Regional dos Estados do Amapá e Pará Projeto Executivo de Engenharia Para Obras de Duplicação de Rodovia (Rodovia BR-316/PA).** v. 1, [S.d.]. 2017.

FRITZEN, Marcos Antonio, **Desenvolvimento e Validação de Função de Transferência para Previsão do Dano por Fadiga em Pavimentos Asfálticos.** Tese (Doutorado em ciências em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

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

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método mecanístico – empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Manual de Utilização do programa MeDiNa. COPPE/UFRJ.** Agosto 2020. Disponível em < <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina/medina-1-1-4-manual-de-utilizacao.pdf>>. Acesso em: 13 de março de 2021.

JACQUES, Guilherme Ebani. **Análise mecanística-empírica de um pavimento dimensionado pelo método do DNER: estudo de caso da duplicação da rodovia RSC-287 em Santa Cruz do Sul.** Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, 2015.

MARANGON, Márcio. **Mecânica dos solos.** Faculdade de Engenharia – Departamento de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018.

PITANGUI, Lara Cordeiro. **Análise comparativa do método do DNER com o método mecanístico-empírico MeDiNa.** Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93p. 2019.

POR que o Brasil depende tanto do transporte rodoviário?. **G1**, 24, maio de 2018. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/noticia/por-que-o-brasil-depende-tanto-do-transporte-rodoviario.ghtml>>. Acesso em: 04 de abril de 2021.

SILVA, Júlio César Lázaro da. A estratégia brasileira de privilegiar as rodovias em detrimento das ferrovias. **Brasil Escola.** Disponível em:

<<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/por-que-brasil-adotou-utilizacao-das-rodovias-ao-inves-.htm>>. Acesso em: 04 de abril de 2021.

SILVA, Rafael Cerqueira *et al.* **Análises do comportamento dos pavimentos da Via040 – Brasília/DF a Juiz de Fora/MG.** 2016. Disponível em: <<https://portal.antt.gov.br/documents/359170/1062036/AN%C3%81LISES+DO+COMPORTAMENTO+E+DESEMPENHO+DOS+PAVIMENTOS+DA+VIA040+-+BRAS%C3%8DLIA-DF+A+JUIZ+DE+FORA-MG.pdf>>. Acesso em: 03 de junho de 2021.

SOUZA, Murilo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis.** Rio de Janeiro, IPR, 1981.

SOUZA, Ricardo Andrade de. **Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia-MG.** Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

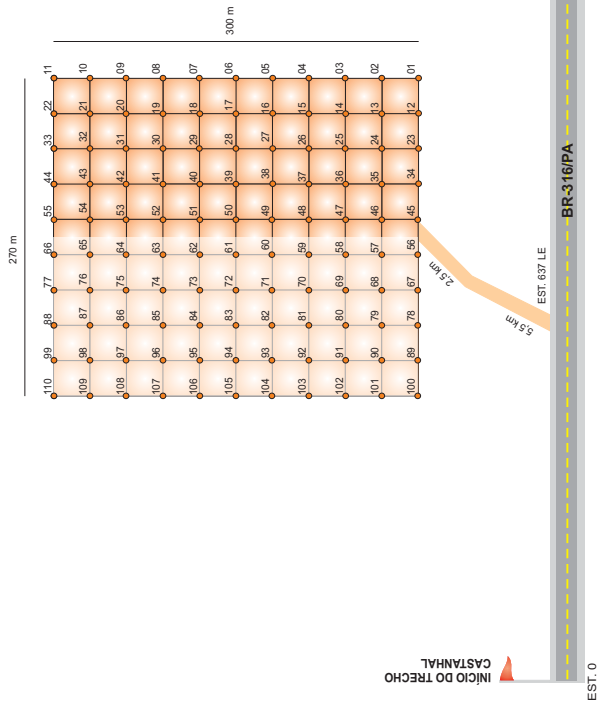
TERRA. **Transporte ferroviário cresceu nos últimos anos e ainda tem potencial a ser explorado.** 2019. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/transporte-ferroviario-cresceu-nos-ultimos-anos-e-ainda-tem-potencial-a-ser-explorado,e4b2ef064e4d4e57cd4893e9514bad6f3d8reeu4.html>>. Acesso em: 04 de junho de 2021.

**ANEXO A – PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA
OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIA (BR-316/PA) - VOLUME 1
RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO E DOCUMENTOS PARA A
CONCORRÊNCIA – Estudos Geotécnicos – Jazidas**

933-BR316-PA-PROJECV1-JAZIDA03.dwg

Trecho : Entr. BR-010 (A) / 308 (A) - Divisa PA/MA (Alto Bonito)
 Subtrecho : Fim Pista Dupla - Entr. PA-324 (p/ Salinópolis)
 Segmento : km 67,6 ao km 112,6
 Extensão : 45,00 km

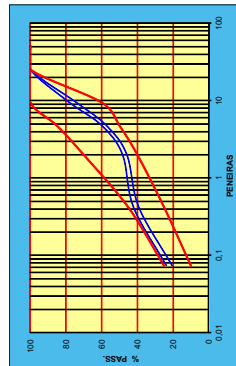
JAZIDA 03



INDICAÇÕES GERAIS		MATERIAL		JAZIDA 3	
LOCALIZAÇÃO		Est. 637 - LE			
DISTÂNCIA DO EIXO		8,0 km			
PROPRIETÁRIO		Cleiton José Merab			
END. DO PROPRIETÁRIO		-			
BENFEITORIAS		Cerca de Arame			
TIPO DE VEGETAÇÃO		Capoeira Alta			
ÁREA		81.000 m ²			
VOLUME DO EXPURGO		(0,10) 13.770 m ³			
VOLUME UTILIZÁVEL (90%)		123.930 m ³			
ESP. MÉD. UTILIZÁVEL		1,70 m			
UTILIZAÇÃO		Base / Sub Base			
MALHAS		30 X 30 m			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS															
ENS. CARACT.	X̄	σ	N	X _{min}	X _{max}	ENS. CARACT.				X̄	σ	N	X _{min}	X _{max}	
						M.E.A.S. MAX.	UNIDADE ÓTIMA	I.S.C	EXPANSÃO						M.E.A.S. MAX.
2"	100	0,0	220	100	100	2037	16	110	2025	2050					
1"	100	0,0	220	100	100	8,2	0,4	110	7,9	8,5					
3/8"	76	2,4	220	74	78	54	2	110	52	56					
Nº 4	59	1,6	220	57	60	EXPANSÃO	0,1	110	0,1	0,2					
Nº 10	47	1,5	220	46	48	M.E.A.S. MAX.	2135	16	110	2121	2148				
Nº 40	41	1,8	220	39	42	UNIDADE ÓTIMA	8,3	0,3	110	8,0	8,5				
Nº 200	22	2,0	220	21	24	I.S.C	85	2	110	83	86				
L.L.	30	1,7	220	29	31	EXPANSÃO	0,1	0,1	110	0,1	0,2				
I.P.	9	0,9	220	8	9	DENSIDADE "IN SITU"	315	1,0	14	30,4	32,5				
FAIXA DNIT	A														
IG. MODAL	0														
CLASS. T.R.B	A-2.4														
GRAU DE COMPACTAÇÃO		78,2		2		28		1604		1649		80,0		80,0	

GRÁFICO LINEAR DE FAIXA GRANULOMÉTRICA



FAIXA GRANULOMÉTRICA - EXISTENTE
 FAIXA GRANULOMÉTRICA "A" - SOLO LATERÍTICO

JAZIDA 03

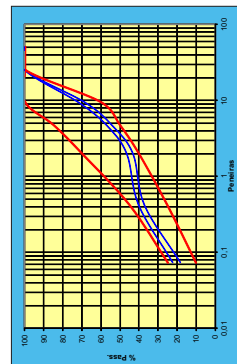


QD.-

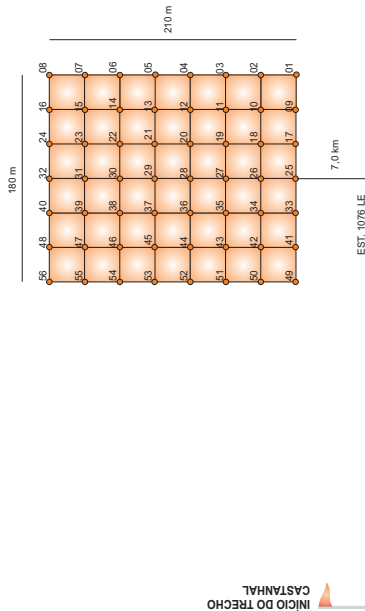
JAZIDA 04-A - ÁREA 02

INDICAÇÕES GERAIS		JAZIDA 04-A - ÁREA 02											
MATERIAL													
LOCALIZAÇÃO		Est. 1076 LE											
DISTÂNCIA DO EIXO		7,0 km											
PROPRIETÁRIO		Francisco Pereira de Souza											
END. DO PROPRIETÁRIO		-											
BENEFITÓRIAS		Cerca de Arame											
TIPO DE VEGETAÇÃO		Capoeira Alta											
ÁREA		37.800 m ²											
VOLUME DO EXPURGO		(0,10) 6.804 m ³											
VOLUME UTILIZÁVEL (90%)		61.236 m ³											
ESP. MÉD. UTILIZÁVEL		1,80 m											
UTILIZAÇÃO		Base											
MALHAS		30 X 30 m											
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS													
ENS. CARACT.	GRANULOMETRIA % PASSANDO	X	σ	N	X _{min}	X _{max}	ENS. CARACT.		X̄	σ	N	X _{min}	X _{max}
							M.E.A.S. MAX. UMIDADE ÓTIMA	I.S.C					
2"	100	100	0,0	112	100	100	M.E.A.S. MAX. UMIDADE ÓTIMA	2085	21	112	2068	2101	
1"	100	100	0,0	112	100	100	I.S.C	7,8	0,4	112	7,4	8,1	
3/8"	70	70	2,1	112	68	72	EXPANSÃO						
Nº 4	56	56	1,7	112	54	57	M.E.A.S. MAX. UMIDADE ÓTIMA	83	2	112	81	85	
Nº 10	45	45	2,0	112	43	46	I.S.C	0,1	0,0	112	0,1	0,2	
Nº 40	39	39	1,8	112	37	40	EXPANSÃO DE AREIA	31,5	1,0	15	30,5	32,5	
Nº 200	20	20	2,4	112	18	22	DENSIDADE "IN SITU"	1613	36,8	15	1576	1651	
L.L.	29	29	1,8	112	28	31	UMIDADE NATURAL	4,9	0,7	15	4,2	5,6	
I.P.	8	8	1,0	112	7	9	GRAU DE COMPACTAÇÃO	77,2	1,5	15	75,7	78,7	
FAIXA DNIT	A												
IG. MODAL	0												
CLASS. T.R.B	A-2.4												

GRÁFICO LINEAR DE FAIXA GRANULOMÉTRICA



FAIXA GRANULOMÉTRICA - EXISTENTE
 FAIXA GRANULOMÉTRICA "A" - SOLO LATERÍTICO



Trecho : Entr. BR-010 (A) / 308 (A) - Divisa PA/MA (Alto Bonito)
 Subtrecho : Fim Pista Dupla - Entr. PA-324 (p/ Salinópolis)
 Segmento : km 67,6 ao km 112,6
 Extensão : 45,00 km

JAZIDA 04-A - ÁREA 02



QD.-

JAZIDA 04-B - ÁREA 03

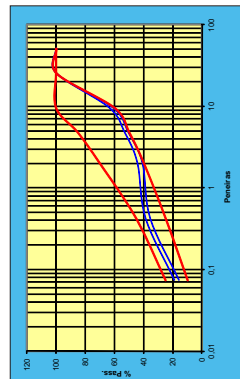
MATERIAL	JAZIDA 04-B - ÁREA 03
LOCALIZAÇÃO	Est. 1046 LE
DISTÂNCIA DO EIXO	7,0 km
PROPRIETÁRIO	Francisco Pereira de Souza
END. DO PROPRIETÁRIO	-
BENFEITORIAS	Cerca de Arame
TIPO DE VEGETAÇÃO	Capoeira Alta
ÁREA	27.000 m ²
VOLUME DO EXPURGO	4.320 m ³
VOLUME UTILIZÁVEL (90%)	38.880 m ³
ESP. MÉD. UTILIZÁVEL	1,60 m
UTILIZAÇÃO	Sub-Base
MALHAS	30 X 30 m

INDICAÇÕES GERAIS

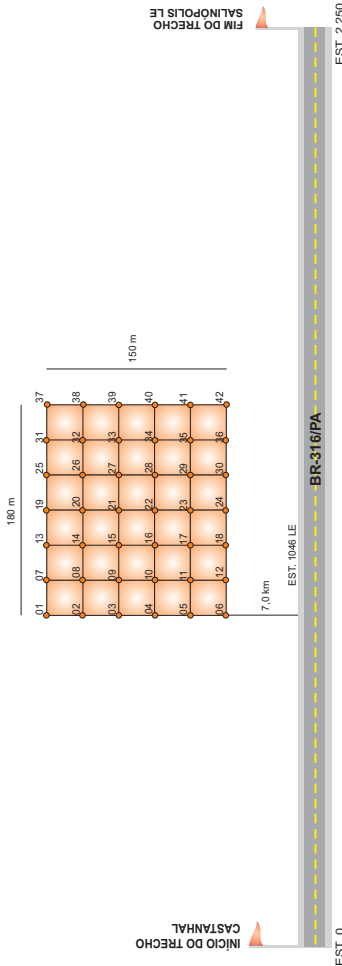
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS

ENS. CARACT.	\bar{X}	σ	N	X_{min}	X_{max}	ENS. CARACT.	\bar{X}	σ	N	X_{min}	X_{max}
GRANULOMETRIA % PASSANDO	2"	100	0,0	84	100	M.E.A.S. MAX.	1976	30	84	1951	2000
	1"	100	0,0	84	100	UMIDADE ÓTIMA	8,2	0,2	84	8,1	8,4
	3/8"	62	1,6	84	61	I.S.C	35	3	84	33	37
	Nº 4	52	1,6	84	51	EXPANSÃO	0,2	0,0	84	0,2	0,2
Nº 10	43	2,1	84	41	M.E.A.S. MAX.						
Nº 40	37	2,0	84	36	UMIDADE ÓTIMA						
Nº 200	18	1,9	84	16	I.S.C						
L.L.	28	1,0	84	27	EXPANSÃO						
I.P.	7	0,7	84	7	EQUIVALENTE DE ÁREA						
FAIXA DNIT	A										
IG. MODAL	0										
CLASS. TR.B	A-24										
						DENSIDADE "IN SITU"	1493	29,3	11	1461	1524
						UMIDADE NATURAL	5,1	0,5	11	4,5	5,6
						GRAU DE COMPACTAÇÃO	75,6	1,7	11	73,8	77,4

GRÁFICO LINEAR DE FAIXA GRANULOMÉTRICA



FAIXA GRANULOMÉTRICA - EXISTENTE
FAIXA GRANULOMÉTRICA "A" - SOLO LATERÍTICO



933E8316PA-PROJEC-VI-JAZIDA.dwg

Trecho : Entr. BR-010 (A) / 308 (A) - Divisa PA/MA (Alto Bonito)
 Subtrecho : Fim Pista Dupla - Entr. PA-324 (p/ Salinópolis)
 Segmento : km 67,6 ao km 112,6
 Extensão : 45,00 km

JAZIDA 04-B - ÁREA 03



QD.-

833-BR016-PA-PROJ.EC-V1-JAZIDA06.caf

Trecho : Entr. BR-010 (A) / 308 (A) - Divisa PA/MA (Alto Bonito)
 Subtrecho : Fim Pista Dupla - Entr. PA-324 (p/ Salinópolis)
 Segmento : km 67,6 ao km 112,6
 Extensão : 45,00 km



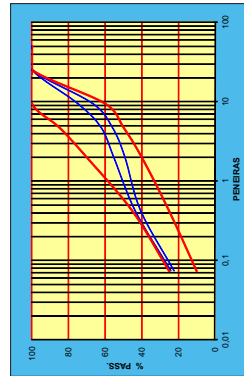
QD.-

JAZIDA 06

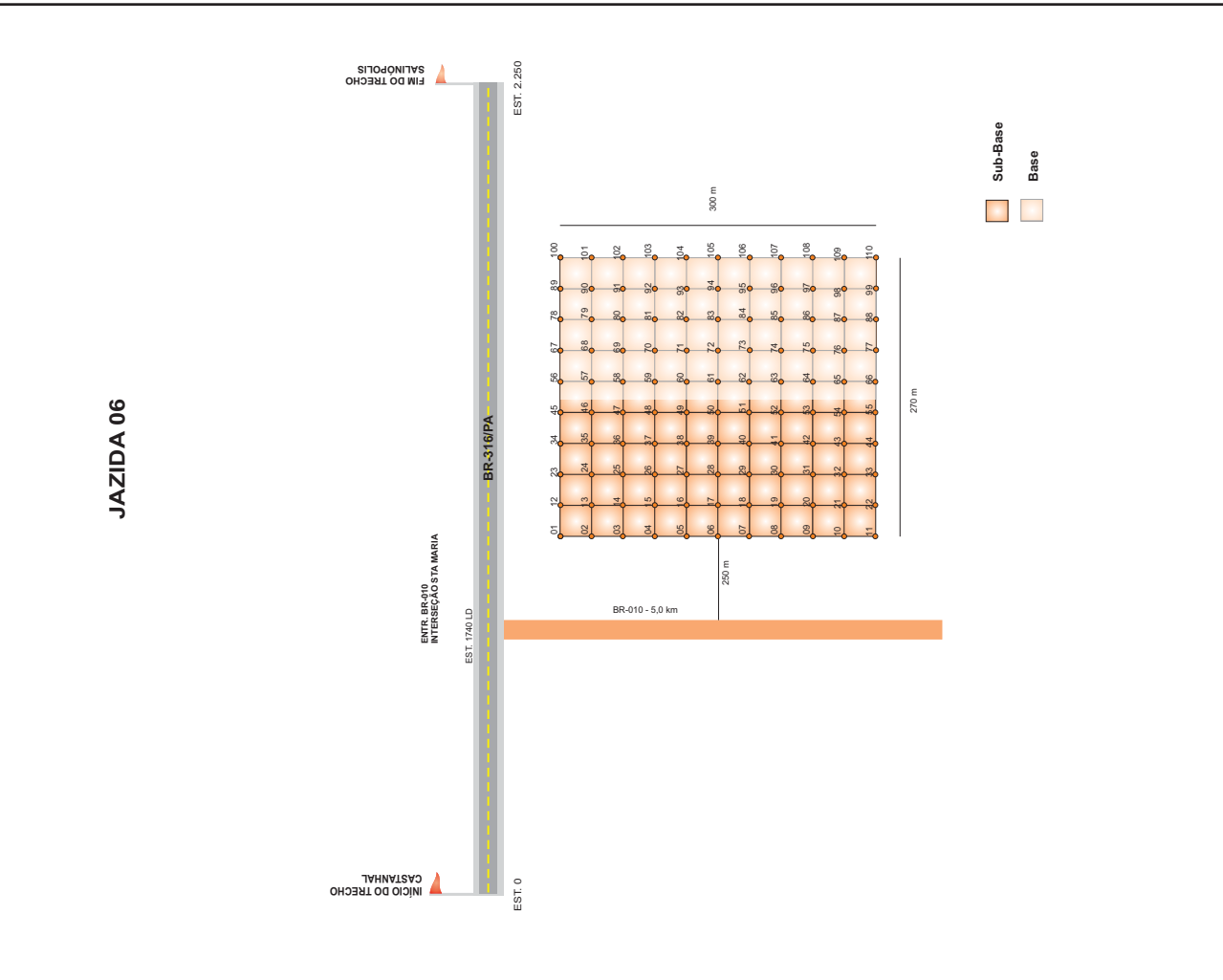
INDICAÇÕES GERAIS		MATERIAL		JAZIDA 6	
LOCALIZAÇÃO		Est. 1740 - LD a 5,25 km			
DISTÂNCIA DO EIXO		250 m			
PROPRIETÁRIO		Raimundo Oliveira			
END. DO PROPRIETÁRIO		-			
BENEFITARIAS		Cerca de Arame			
TIPO DE VEGETAÇÃO		Capoeira Alta			
ÁREA		81.000 m ²			
VOLUME DO EXPURGO		(0,20) 16.200 m ³			
VOLUME UTILIZÁVEL (90%)		131.220 m ³			
ESP. MÉD. UTILIZÁVEL		1,80 m			
UTILIZAÇÃO		Base / Sub Base			
MALHAS		30 X 30 m			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS										
ENS. CARACT.	σ	N	X _{min}	X _{max}	ENS. CARACT.	X̄	σ	N	X _{min}	X _{max}
2"	100	0,0	220	100	1997	18	110	1983	2012	
1"	100	0,0	220	100	8,4	0,6	110	7,9	8,9	
3/8"	71	5,3	220	67	53	5	110	49	57	
Nº 4	59	4,1	220	56	EXPANSÃO	0,1	0,0	110	0,1	0,2
Nº 10	52	3,7	220	49	2082	23	110	2064	2101	
Nº 40	42	2,0	220	41	7,9	0,2	110	7,8	8,1	
Nº 200	23	1,2	220	22	85	1,7	110	84	87	
L.L.	30	1,1	220	29	EXPANSÃO	0,1	0,0	110	0,1	0,1
I.P.	8	0,8	220	8						
FAIXA DNIT	DENSIDADE "IN SITU" 1484 45,2 28 1443 1526									
IG. MODAL	UMIDADE NATURAL 5,0 0,6 28 4,4 5,6									
CLASS. TR.B	GRAU DE COMPACTAÇÃO 73 2,8 28 70,0 75,3									

GRÁFICO LINEAR DE FAIXA GRANULOMÉTRICA



FAIXA GRANULOMÉTRICA - EXISTENTE
 FAIXA GRANULOMÉTRICA "A" - SOLO LATERÍTICO



JAZIDA 06

Sub-Base
 Base

**ANEXO B – PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA
OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIA (BR-316/PA) - VOLUME 1
RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO E DOCUMENTOS PARA A
CONCORRÊNCIA – Projeto de Pavimentação**

4.4 Projeto de Pavimentação

4.4.1 Concepção Estrutural do Pavimento

A rodovia BR 316/PA exerce um papel fundamental na ligação de Belém com as demais regiões do estado e com todo o restante do país, se constituindo na única ligação rodoviária da capital do Pará com todas as demais regiões estaduais e nacionais. Também se constitui como incentivadora do turismo regional, proporcionando acesso a praias marítimas, sendo a principal “Salinas” que é acessada pela PA-324 que se entronca com a BR-316 no final do segmento em projeto. Todos os dias milhares de veículos de diversas configurações trafegam por esta rodovia.

O trecho existente da BR-316/PA compreendido entre Castanhal e o entroncamento para Salinópolis teve seu projeto de reabilitação do pavimento incluído e aprovado através do Contrato nº PP-086/2009-00 firmado entre o DNIT e a Maia Melo Engenharia e da Portaria nº 1.090 da DPP/DNIT emitida em 22 de outubro de 2012. Esse projeto de reabilitação do pavimento existente é parte integrante do Programa CREMA 2ª Etapa e se refere ao lote 02 de projeto.

Observando o comportamento dos materiais asfálticos utilizados no Brasil ao longo dos anos, concluiu-se que o período de projeto mais adequado seria de 10 anos, uma vez que a grande maioria desses revestimentos não apresenta vida útil superior a essa idade. Tal restrição se deve sobremaneira ao excesso de carga de veículos, qualidade dos materiais componentes da mistura asfáltica, processo executivo da mistura dentre outros.

De maneira a mensurar o tráfego atuante na rodovia no período de projeto foi calculado o número de repetições do eixo padrão. A metodologia de cálculo utilizada encontra-se descrita no Estudo de Tráfego.

Quanto aos fatores climáticos envolvidos, observa-se que a média anual registrada no trecho alvo de projeto possui valor elevado, que exige uma camada com boa impermeabilização e com índice de vazios reduzidos, a fim de proteger as camadas granulares dos efeitos das águas do período chuvoso.

Todos estes fatores levaram à adoção de uma mistura betuminosa usinada à quente com grande poder de coesão e conseqüentemente capaz de resistir aos esforços de tração impostos pelo grande número de solicitações do tráfego e que ao mesmo tempo fosse impermeável, não possibilitando a percolação de água para as camadas subjacentes do pavimento, esta mistura é denominada Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), faixas “B” e “C”, DNIT-ES-031/2006.

No que diz respeito aos materiais designados para constituírem as camadas granulares, os estudos apresentados no Volume 3B - Estudos Geotécnicos indicaram que é possível a utilização das jazidas J3, J4 e J6 indicadas para utilização “in natura” como material de base e sub-base, sendo que na jazida 4 existem duas áreas distintas sendo a área 2 (J4A) utilizada para base e a área 3 (J4B) para sub-base.

A seguir são apresentados os quadros com os resumos estatísticos dos ensaios que enquadram as jazidas indicadas para utilização como material de base e sub-base.

- **Concepção da fundação do pavimento (subleito)**

O pavimento da pista a ser implantada deverá ser executado sobre subleito constituído de materiais com ISC \geq 10% e expansão $<$ 2%.

4.4.2 – Metodologia de Dimensionamento

A metodologia a ser considerada no dimensionamento do pavimento é a seguinte:

- Manual de Pavimentação IPR 719 - DNIT, versão 2006.

A seguir é apresentada a descrição resumida desse método.

4.4.2.1 – Dimensionamento da Estrutura do Pavimento

Com o objetivo de assegurar o excepcional desempenho estrutural e, conseqüentemente, operacional do trecho a implantar, foi utilizado o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER-2006). Cabe ressaltar que para a utilização do citado método torna-se imperioso o conhecimento de duas variáveis de extrema importância:

- Número “N”
- CBR de Projeto.

a) Determinação do Número “N”

O número “N” (USACE) de $1,2 \times 10^8$ (estaca 0+0,00 à estaca 1730) e $5,4 \times 10^7$ (estaca 1730 à estaca 2250) a ser utilizados para o dimensionamento do pavimento foi calculado para um

período de projeto de 10 anos. Para o ano de abertura da rodovia ao tráfego adotou-se o ano de 2016.

b) Determinação do Valor de CBR de Projeto

O valor de CBR de projeto adotado no dimensionamento do pavimento é de 10%, conforme estudos geotécnicos.

c) Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER-2006)

As espessuras totais, em termos de material granular padrão, obtidas a partir do ábaco do presente método e do Número "N" calculado para 10 anos e dos ISC dos materiais são as seguintes:

■ Segmento Estaca 0+0,00 à estaca 1730+0,00

Foi definida considerando-se período de projeto de 10 anos.

- $N_{10} = 1,2 \times 10^8$ e $ISC_{SB} = 20 \rightarrow$ Ábaco: $H_{20} = 32,0$ cm
- $N_{10} = 1,2 \times 10^8$ e $ISC_{SL} = 10 \rightarrow$ Ábaco: $H_{10} = 48,0$ cm

■ Segmento Estaca 1730+0,00 à estaca 2250+0,00

- $N_{10} = 5,4 \times 10^7$ e $ISC_{SB} = 20 \rightarrow$ Ábaco: $H_{20} = 31,0$ cm
- $N_{10} = 5,4 \times 10^7$ e $ISC_{SL} = 10 \rightarrow$ Ábaco: $H_{10} = 46,0$ cm

Nota-se, portanto, que para os dois segmentos de diferentes números N, o dimensionamento, no entanto, resulta na mesma estrutura.

Assim a estrutura para esta rodovia ficará:

- Revestimento = 12,5 cm;
- Base compactada a 100 % do Proctor Modificado = 15 cm e
- Sub-base compactada a 100 % do Proctor Intermediário = 15 cm

4.4.3 - Constituição Final das Camadas de Pavimento

Após detalhada análise da concepção do pavimento e do dimensionamento, concluiu-se que a estrutura do pavimento deverá ser constituída da seguinte maneira:

▪ Pista de Rolamento

- **Revestimento:** Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) faixa "B" (binder) com CAP 50/70 – DNIT-ES-031/2006 (e = 7,5 cm), executado em uma camada; Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) faixa "C" com CAP 50/70 – DNIT-ES-031/2006 (e = 5,0 cm), executado em uma camada;
- **Imprimação** com asfalto diluído do tipo CM-30, taxa de 1,2 l/m²;
- **Pintura de Ligação** com RR-1C, taxa de 0,4 l/m², executada sobre a imprimação e sobre a camada de CBUQ B (binder);

- **Base:** estabilizada granulometricamente sem mistura com espessura de 15,0 cm, conforme a especificação DNER ES 303/97 – na Energia de Compactação do Proctor Modificado;
- **Sub-Base:** estabilizada granulometricamente sem mistura com espessura de 15,0 cm, conforme a especificação DNER ES 303/97 – na Energia de Compactação do Proctor Intermediário.
- **Acostamento e faixa de segurança**

Devido à classe da rodovia, o acostamento e a faixa de segurança serão nivelados com a pista de rolamento, portanto terão a mesma estrutura já descrita.

- **Faixas de aceleração, desaceleração, retornos, acessos e interseções**

Deverá ser executada a mesma estrutura da pista de rolamento e acostamento de forma a garantir continuidade e funcionalidade.

4.4.4 – Resultados Obtidos

Definida a alternativa para a implantação de pavimentos, bem como os materiais componentes, foi possível elaborar as seções tipo de implantação, assim como os lineares de pavimentação. Todos os materiais necessários à execução das obras foram quantificados e os resultados são apresentados no Volume 2 – Projeto de Execução.

Para uma melhor visualização dos elementos supra, são apresentados a seguir os seguintes itens:

- Linear de Ocorrência de Materiais para Pavimentação;
- Seção Tipo de Pavimentação.