

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

HUGO LEONARDO ROLIM MAIA

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELOS MÉTODOS DO DNIT
E SISPAV, COM VERIFICAÇÃO PELO PROGRAMA ELSYM5.**

São Luís
2016

HUGO LEONARDO ROLIM MAIA

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELOS MÉTODOS DO DNIT
E SISPAV, COM VERIFICAÇÃO PELO PROGRAMA ELSYM5.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana

São Luís

2016

HUGO LEONARDO ROLIM MAIA

**DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELOS
MÉTODOS DO DNIT E DO SISPAV, ANALISADO ATRAVÉS DO ELSYM5.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dsc. Walter Canales Sant'Ana
Universidade Estadual do Maranhão

Examinador Prof. Dsc. Maria Teresinha de Medeiros Coelho
Universidade Estadual do Maranhão

Examinador Prof. Marivaldo Costa Duarte
Universidade Estadual do Maranhão

A minha mãe e meu pai pelos ensinamentos, motivação, confiança e apoio antes e durante os anos de curso.

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha família pela paciência e compreensão durante várias escolhas que fiz desde a entrada no curso de graduação e aos meus pais especialmente pelo esforço financeiro para chegar onde estou hoje.

Agradeço a Deus pela saúde e por colocar em meu caminho várias pessoas que me acrescentaram algo e tive o prazer de ter como amigos durante no período de graduação.

Ao meu orientador pela sugestão do tema elaborado, apoio e incentivo desde o ingresso na pesquisa científica durante o curso de graduação.

Aos meus amigos Paulo Casé Andrade Fernandes Ribeiro, Roberto Lázaro, Victor Hugo Cordeiro Mendes, Bruno Henrique Santos Elias, João Victor Pestana Santiago, Gustavo Henrique Beckman, pela alegria de conviver vários dias estressantes, de alegria, de sono, de festas, de discussões, porém sempre acrescentando suas qualidades particulares ao meio em que sempre estivemos reunidos.

Aos meus amigos Luis Guilherme, Jonilson Ribeiro, João Marcos e Brenno de Brito, pelo incentivo em entrar no curso desde o ensino médio, agradeço-os muito.

Ao amigo João Victor Barbosa e minha prima Christina Cantanhêde por colaborarem neste trabalho.

Aos meus amigos Caíque Reis, Lucas Borges, Lucas Gabriel, Rogerio dos Santos Lima, Eugenio Simão, Victor Langford, João Marinho, Pedro Henrique, Willer Marinho e José Nilton, pelos bons anos de convivência na presença de todos na faculdade e ver que seus sonhos estão sendo alcançados.

RESUMO

Este estudo objetivou comparar o dimensionamento de pavimentos flexíveis sob diferentes níveis de tráfego e de suporte no subleito, por meio dos métodos empírico e mecanístico-empírico utilizados atualmente e a ser adotado respectivamente, pelo meio técnico nacional. Apresenta-se um passo a passo do roteiro de dimensionamento de ambos os métodos com um resumo dos resultados das espessuras obtidas, avaliando os esforços gerados nas estruturas resultantes por meio do programa Elsym5 e apontando as vantagens e desvantagens dos métodos apresentados. Utilizou-se o método empírico oficial do DNIT (extinto DNER), considerado o método oficial da pavimentação brasileira e o programa SisPav, método empírico-mecanístico, que é considerado o método sucessor para dimensionamento de pavimentos do DNIT. A partir das várias condições de tráfego e suporte foram obtidas várias estruturas resultantes, cujos esforços principais no interior das mesmas, serviram para avaliar o eventual sub ou superdimensionamento. Assim, por meio de todo o estudo realizado foi possível confirmar a necessidade de um novo método de dimensionamento que considere a teoria mecanística e a experiência nacional.

Palavras-Chaves: Pavimentos Flexíveis; Método do DNIT; SisPav; Elsym5.

ABSTRACT

The goal of this study is to compare the design of flexible pavements under different levels of traffic and CBR in the subgrade of flexible pavements under different levels of traffic and CBR in the subgrade, for the empirical and mechanistic-empirical methods currently used in the market was used to this comparison. This project has step by step of the design of both methods and the summarized results of thicknesses obtained in Elsym5 software was used to measure the stresses on the final structures and to indicate the advantages and disadvantages of each method. The official empirical method of DNIT (known as DNER before) considered the official method of Brazilian paving and the SisPav software, an empirical-mechanistic method, is considered the DNIT's successor method to design pavements. From the various traffic conditions and support were obtained several resulting structures, who's the main efforts were useful to evaluate the eventual sub or oversizing. Therefore, after this study, is possible to confirm the need for a new method of design which considers the mechanistic theory and national experience.

Keywords: Flexible Pavements; Method of DNIT; SisPav; Elsym5.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de Pavimentos flexíveis (esquerda) e rígidos (direita).....	19
Figura 2 - Exemplo das vias romanas.	21
Figura 3 - Modelo de estruturação do pavimento.	30
Figura 4 - Esquema de tensões no interior do Pavimento.	36
Figura 5 - Aba estrutura.	39
Figura 6 - Entrada de dados.....	39
Figura 7 - Aba tráfego com para inserção da sua composição de tráfego.	40
Figura 8 - Tipos de modelos de análise de desempenho.	40
Figura 9 - Aba clima com as variações de temperatura.	41
Figura 10 - Opções de configuração.	42
Figura 11 - Espessuras da estrutura 1 - DNIT.....	47
Figura 12 - Espessuras da estrutura 2 - DNIT.....	48
Figura 13 - Espessuras da estrutura 3 - DNIT.....	50
Figura 14 - Espessuras da estrutura 4 - DNIT.....	51
Figura 15 - Espessuras da estrutura 5 - DNIT.....	52
Figura 16 - Espessuras da estrutura 6 - DNIT.....	53
Figura 17 - Espessuras da estrutura 7 - DNIT.....	54
Figura 18 - Espessuras da estrutura 8 - DNIT.....	55
Figura 19 - Espessuras da estrutura 9 - DNIT.....	57
Figura 20 - Espessuras da estrutura 1 - SisPav.	59
Figura 21 - Espessuras da estrutura 2 - SisPav.	59
Figura 22 - Espessuras da estrutura 3 - SisPav.	60
Figura 23 - Espessuras da estrutura 4 - SisPav.	60
Figura 24 - Espessuras da estrutura 5 - SisPav.	61
Figura 25 - Espessuras da estrutura 6 - SisPav.	61
Figura 26 - Espessuras da estrutura 7 - SisPav.	62
Figura 27 - Espessuras da estrutura 8 - SisPav.	62
Figura 28 - Espessuras da estrutura 9 – SisPav.	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fator de equivalência de carga.	26
Gráfico 2 - Determinação de espessuras de pavimento.....	31
Gráfico 3 - Comportamento dos materiais de pavimentação sujeitos a um ciclo de carregamento.	33

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	23
Equação 2.....	24
Equação 3.....	24
Equação 4.....	24
Equação 5.....	27
Equação 6.....	27
Equação 7.....	28
Equação 8.....	31
Equação 9.....	33
Equação 10.....	34
Equação 11.....	36
Equação 12.....	37
Equação 13.....	37
Equação 14.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões básicas dos veículos de projeto.	24
Tabela 2 - Veículos adotados na classificação do DNIT.	25
Tabela 3 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO.....	27
Tabela 4 - Fatores de Equivalência de carga da USACE.....	27
Tabela 5 - Condições para o dimensionamento do pavimento.....	29
Tabela 6 - Coeficientes de equivalência estrutural.....	29
Tabela 7 - Espessuras mínimas adotadas de revestimento betuminoso.	30
Tabela 8 - Estimativa de módulo de resiliência.	34
Tabela 9 - Constantes de regressão determinadas experimentalmente.	38
Tabela 10 - Posições críticas a serem analisadas em pavimentos flexíveis.	45
Tabela 11 - Dados de entrada dos parâmetros físicos das estruturas 1,2 e 3 - SisPav.	57
Tabela 12 - Dados de entrada dos parâmetros físicos das estruturas 4,5 e 6 - SisPav.	58
Tabela 13 - Dados de entrada dos parâmetros físicos das estruturas 7,8 e 9 – SisPav.	58
Tabela 14 - Resultados relacionados as estruturas dimensionadas pelo método do DNIT analisadas através do Elsym5.	64
Tabela 15 - Resultados relacionados as estruturas dimensionadas pelo método do SisPav analisadas através do Elsym5.....	65
Tabela 16 - Resumo das estruturas dimensionadas com trafego leve.	66
Tabela 17 - Resumo das estruturas dimensionadas com trafego médio.....	66
Tabela 18 - Resumo das estruturas dimensionadas com trafego pesado.....	66

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
BR:	Brasil
PT	Português
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNIT:	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER:	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
USACE:	United States Army Corps of Engineers

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Considerações Preliminares	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Justificativa	16
1.4 Organização do Trabalho	17
2. A PAVIMENTAÇÃO.....	18
2.1. Conhecendo o Pavimento	18
2.2 A importante evolução dos pavimentos	20
2.3 A atual conjuntura brasileira	21
3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DO DNIT	23
3.1 Determinação do número “N”	23
3.1.1 Volume Médio Diário Anual (VMDA).....	23
3.1.2 Classificação da Frota	24
3.1.3 Carregamento da Frota	24
3.1.4 Fatores de Equivalência.....	26
3.1.5 Dimensionamento das Espessuras das camadas	28
4 MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DO SISPAV	32
4.1 Resiliência.....	32
4.2 Modelos de previsão de desempenho.....	35
4.2.1 Fadiga	35
4.2.2 Deformação Permanente	37
4.3 Interação com o programa	38
5 ELSYM5	43
6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO.....	46
6.1 Proposição das condições de dimensionamento	46
6.2 Dimensionamento das estruturas de pavimento usando o método do DNIT.....	46
6.3 Dimensionamento das estruturas de pavimento usando o SISPAV	57
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	64
7.1 Avaliação dos esforços resultantes das estruturas dimensionadas pelo programa Elsym5	64

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....67

REFERÊNCIAS.....68

ANEXO A.....70

ANEXO B73

ANEXO C.....76

ANEXO D79

ANEXO E82

ANEXO F.....85

ANEXO G.....88

ANEXO H91

ANEXO I.....94

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Preliminares

O pavimento é uma estrutura constituída de camadas compactadas a partir do subleito, com função estrutural de suportar as cargas provenientes dos automóveis que circulam por sua camada mais externa, procurando gerar conforto e segurança adequada ao motorista. O dimensionamento dessas estruturas vem desde o passado sendo feita de forma empírica, no qual generalizava o comportamento da mesma para quaisquer tipos de regiões, apresentando materiais e especificações ambientais locais diferentes.

Embora os desenvolvimentos de projetos de pavimentação evoluíram gradualmente da arte à ciência, o empirismo ainda desempenha um papel importante mesmo até os dias atuais. Antes do início dos anos 1920, as espessuras dos pavimentos eram puramente baseadas em experiências. A mesma espessura era usada para uma seção de via, embora solos muito diferentes tivessem sido encontrados. Devido à experiência adquirida ao longo dos anos, vários métodos foram desenvolvidos por diferentes agências para determinar a espessura do pavimento necessário (HUANG, 2004, p.1).

Com a evolução da tecnologia e o aparecimento de defeitos nos pavimentos, mesmo adotando especificações anteriormente já definidas, adotou-se uma nova maneira de se observar o dimensionamento de pavimentos. De acordo com Franco (2007) o dimensionamento correto das camadas do pavimento, procura evitar o trincamento do revestimento asfáltico com a passagem repetitiva de veículos, durante o período de vida do projeto, e garantir que as camadas da sua estrutura minimizem os efeitos do afundamento da trilha de roda.

Seguindo nessa mesma linha, Franco (2007) diz que essa abordagem mecanística se deu pela procura de tentar melhorar os projetos em termos de desempenho estrutural, considerando o uso de materiais ainda não empregados ou com pouco uso no mercado, considerando a variação das condições ambientais, das diferentes cargas sobre os eixos da nossa frota que atua no transporte de mercadorias presentes na nossa imensa extensão territorial.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o dimensionamento de pavimentos flexíveis sob diferentes níveis de tráfego e de suporte do subleito, por meio de métodos empírico e mecanístico-empírico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) apresentar a base e o roteiro de dimensionamento pelo SISPAV e DNIT;
- b) avaliar os esforços atuantes nas estruturas resultantes de acordo com o programa elsym5;
- c) apontar as vantagens e desvantagens dos métodos de dimensionamentos utilizados neste trabalho.

1.3 Justificativa

O que impulsionou a realização desse trabalho foi a iminente aprovação do SisPav como novo método de dimensionamento do DNIT, aposentando o método atual, após cinco décadas, desde sua versão de 1966, de utilização pela engenharia rodoviária brasileira.

A evolução da informática e das pesquisas que contemplam esforços em camadas de pavimentos, bem como a resistência à fadiga e deformação permanente mostram que o empirismo do método do DNIT contribuiu muito com a pavimentação, porém estas novas contribuições são decisivas para melhores pavimentos, em termos técnico-econômicos.

Assim, a simulação de dimensionamento de pavimentos utilizando a técnica antiga e nova, comparando-as com utilização do programa Elsym5, de maneira a visualizar os esforços existentes em suas estruturas é um modo de contribuir na academia como introdução ao novo método que chega, fazendo com que este trabalho sirva àqueles que desconhecem os princípios desta ferramenta, próxima de oficialização.

1.4 Organização do Trabalho

No capítulo 2 define-se a pavimentação, a evolução durante o tempo e sua utilização.

No capítulo 3 é apresentado o método de dimensionamento, com um histórico do método de dimensionamento do DNIT além dos critérios e roteiro de cálculo do método empírico.

No capítulo 4 será apresentado o programa SisPav, além dos critérios e roteiros de cálculo do dimensionamento mecanístico-empírico.

No capítulo 5 é demonstrada a utilização do software Elsym5 como modelo para o cálculo de tensões e deformações geradas na estrutura.

No capítulo 6 será mostrado o dimensionamento pelos dois métodos, adotando-se diversos valores de CBR e de volume do tráfego. Ao final apresentando as espessuras da estrutura dimensionada.

O capítulo 7 apresentará as tensões e deformações resultantes nas estruturas a partir de análise realizada pelo Elsym5.

O Capítulo 8 apresentará as conclusões acerca dos métodos estudados e das análises comparativas realizadas.

2. A PAVIMENTAÇÃO

2.1. Conhecendo o Pavimento

O pavimento segundo Bernuci *et al.* (2006) é uma estrutura composta por camadas sobrepostas de materiais distintos, compactados a partir do subleito e com espessuras definidas, construída após a terraplanagem da última camada. Balbo (2007) completa que ele tem como principais objetivos, resistir e distribuir às camadas inferiores os esforços produzidos pelo tráfego de veículos e do clima de maneira atenuada, melhorando a sensação de comodidade e de segurança dentro dos veículos devido a uma superfície mais regular e aderente e que permaneça de maneira durável e ao menor custo possível, a fim de evitar serviços de manutenções corretivas.

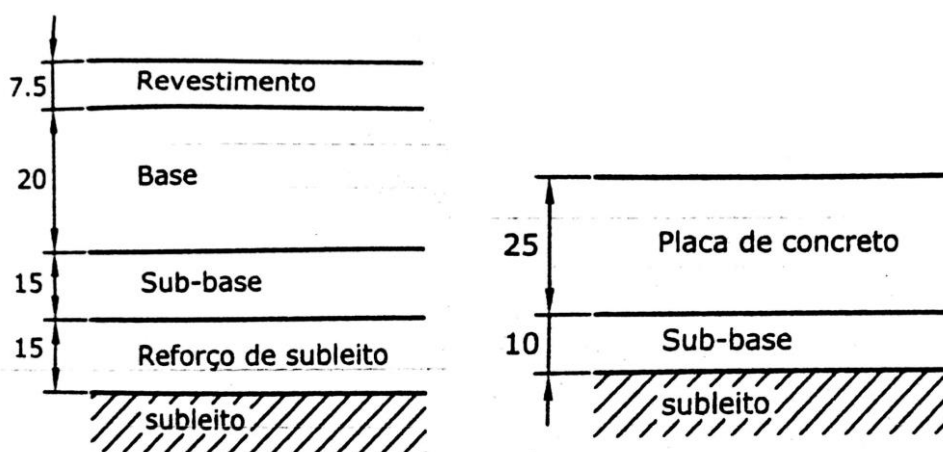
Segundo Balbo (2007), dimensiona-se um pavimento em função da combinação do tráfego e de ações climáticas, além das questões econômicas, procurando, sempre que possível o aproveitamento de materiais disponíveis no local onde será implantada a via, garantindo um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção da mesma. Vassoler (2009) complementa que a busca pela estabilização dos terrenos arenosos e argilosos levou à utilização de revestimentos de pedras, de misturas betuminosas ou de concreto de cimento, o que hoje é conhecido como pavimentação. Balbo (2007) comenta que ao melhorar a condição de rolamento de uma via, há uma redução dos gastos operacionais e de manutenção dos veículos, proporcionando também um menor tempo de viagem.

Os pavimentos podem ser classificados em flexíveis e rígidos. De acordo com Bernucci *et al.* (2006), os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland, onde são fixadas as espessuras dessas placas de acordo com a resistência à flexão, onde elas podem ser armadas ou não com barras de aço. O DNIT (2006, p.95) complementa que pavimento rígido é “aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado”. Enquanto os pavimentos flexíveis para Bernucci *et al.* (2006), são aqueles compostos por uma mistura de agregados e ligante asfáltico, formado por camadas principais: revestimento, base, sub-base e reforço do subleito. [...] todas as camadas sofrem sob o carregamento aplicado, e,

portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes[...] (DNIT, 2006).

Segundo Medina e Motta (2015), os pavimentos são categorizados dessa maneira, pois historicamente, os pavimentos flexíveis são aqueles onde os tipos de ruptura são praticamente afundamentos, provocados pelas deformações permanentes, enquanto os pavimentos rígidos são aqueles onde o tipo de ruptura é na maioria dos casos o trincamento por repetição das deformações elásticas. Bernucci *et al.* (2006) explica que as tensões e deformações produzidas no revestimento pelas cargas do tráfego são ligadas diretamente ao trincamento por fadiga dessa camada, podendo apresentar também trincamento devido ao envelhecimento do ligante asfáltico. São apresentados abaixo na Figura 1, um exemplo básico da configuração das estruturas de pavimentos flexíveis e rígidos.

Figura 1 - Exemplos de Pavimentos flexíveis (esquerda) e rígidos (direita).



Fonte: Medina e Motta (2015).

As camadas dos pavimentos podem ser configuradas dessa maneira, onde Souza (1980) diz que:

- a) a base é responsável por resistir às ações dos veículos e transmitir os esforços de conveniente ao subleito;
- b) a sub-base é uma camada complementar a base com as mesmas funções usada convenientemente para reduzir a espessura da camada da base;
- c) o reforço do subleito é utilizado para reduzir a espessura da camada da sub-base, no caso de pavimentos muito espessos.

Conclui-se diante do apresentado, que nos pavimentos flexíveis a carga se distribui em parcelas proporcionais à rigidez das camadas, todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas e até um certo limite não levam ao rompimento.

2.2 A Importante evolução dos pavimentos

A importância da pavimentação é acompanhada pela sucessão de fatos históricos das civilizações antigas e gerada a partir de razões econômicas, onde, a partir da necessidade de locomoção de pessoas, propagação de ideias, intercâmbio religioso e cultural, necessidades de materiais, povoamento e conquistas territoriais, criou-se uma atmosfera favorável a evolução e precisão de aperfeiçoamento do pavimento. Balbo (2007, p.13) diz que “[...]a fim de obter melhor acesso às áreas cultiváveis e às fontes de madeiras, rochas e água, além do desejo de expandir sua área ou território de influência, criou o que chamamos de estradas[...]”.

Segundo Bernucci *et al.* (2006), a estrada construída para a construção das Pirâmides do Egito, uma das mais antigas da civilização, não foi proposta a veículos com rodas, mas trenós, onde as vias eram compostas por lajões justapostos e umedecida sucessivamente com água, azeite ou musgo molhado a fim de evitar o atrito. Já para Balbo (2007, p.16), “os serviços de pavimentação por egípcios e também pelos gregos restringiam-se a extensões de vias executadas a serviços religiosos e desfiles militares e reais, mais com o sentido decorativo ...”.

Ao longo do crescimento de Roma para se tornar império, Bernucci *et al.* (2006) fala que as estradas passaram a serem construídas com um elevado nível de critério, assim como apresentada na Figura 2, compostas por uma fundação e uma camada de superfície, variando de acordo com os materiais disponíveis no local, preocupando-se com aterros e drenagem. Pretendiam com isso a ligação de uma cidade a outra e com um fim de expansão territorial.

“Os construtores da época eram obrigados a tirar o melhor proveito possível dos materiais disponíveis nas regiões próximas. A necessidade de aproveitamento de materiais locais para obras de pavimentação já se tratava, portanto, de um conceito da arquitetura romana” (BALBO, 2007, p. 17).

Figura 2 - Exemplo das vias romanas.



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

Por volta de 1770, o engenheiro Pier-Maria Jerolame Trésaguet elaborou um método construtivo no qual dizia que, a fundação deveria ter a seção transversal abaulada para receber a compactação de uma camada com espessura de 30 centímetros de pedras cravadas, para então dispor a camada final com espessura de 8 a 10 centímetros de pedras trituradas com diâmetro entre 70mm e 80mm. (apud BONZANO; BALBO, 2007, p.20). Já tempos depois, Balbo (2007) complementa que, o escocês John Loudon Mac-Adam publicou notas técnicas que diferiam de Trésaguet, onde dizia que a geometria da fundação proposta e a compactação do material granular era desnecessária, as pedras justapostas seriam colocadas de forma crescente, evitando assim o uso de aglomerante.

Na década de XIX, Balbo (2007) afirma que ocorreu a solidificação de várias teorias, como a elasticidade, a resistência dos materiais e a geometria prática, além da publicação de Boussinesq, contribuindo para que sejam elaboradas regras e normas no critério de dimensionamento de pavimentos do USACE utilizados atualmente.

2.3 A atual conjuntura brasileira

De acordo com Medina e Motta (2015), em 2013, 61,1% das cargas foram transportadas no Brasil por rodovias, entretanto a rede pavimentada representa somente 12% do total de estradas de rodagem do país, enquanto em países

desenvolvidos esse número varia de 50 a 80%. Têm-se também a preocupação urbanística, onde, “O número de carros não para de crescer no país. Com o aumento da frota, o Brasil já tem um automóvel para cada 4,4 habitantes. São 45,4 milhões de veículos do tipo. Há dez anos, a proporção era de 7,4 habitantes por carro” (REIS, 2014).

A competitividade da economia brasileira é prejudicada pela falta de investimento em infra-estrutura, uma vez que isso acarreta um número crescente de acidentes, desperdício de carga e gasto elevado com manutenção e combustíveis (BERNUCCI, MOTTA, *et al.*, 2006).

Com o setor estatal pressionado pelos dados alarmantes apresentados da calamidade em que se encontrava as rodovias do país, foi criada a CIDE em dezembro de 2001, de acordo com Bernucci *et al.* (2006), tem o intuito de financiar o setor de infraestrutura de transportes e desde a sua criação até 2007, já tinha arrecadado R\$ 43,3 bilhões, sendo suficientes para recuperação e ampliação das rodovias, porém esses recursos têm tido outros fins.

3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DO DNIT

3.1 Determinação do número “N”

3.1.1 Volume Médio Diário Anual (VMDA)

O volume médio diário é baseado na quantidade de veículos que passa por uma seção da via, a partir de uma contagem volumétrica classificatória, englobando todos os veículos em ambos sentidos, mesmo desprezando veículos leves para análise dos pavimentos. O Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) diz que, a elaboração de cálculo do tráfego futuro levará em conta o crescimento do tráfego atual em relação ao crescimento populacional, series históricas possíveis, a dados socioeconômicos locais, a sazonalidades, como principal exemplo disso vemos no Maranhão o período de entre safra da soja no sul do estado e o provável plano de expansão de produção de gás na Bacia do Parnaíba.

Souza (1980) completa que, o pavimento será utilizado por três categorias de tráfego: aquele que já utiliza e voltará a utiliza-lo após intervenção, o atraído de outras estradas existentes e aquele que irá surgir devido ao empreendedorismo levado pela estrada.

O VDM é geralmente obtido com base de cálculo de 365 dias para abrigar todas as condições de sazonalidade semanais ou mensais de tráfego que se utiliza de uma seção da via, compreendidos os veículos de passeio, os ônibus e os caminhões (leves, médios e pesados) (BALBO, 2007).

$$VDM = \frac{\sum \text{total de veiculos em um ano}}{365} \quad \text{Equação 1}$$

Após essa conclusão, verifica-se a taxa de crescimento anual do tráfego, com base em dados apresentados pelo DENATRAN, com isso teremos os Volume médio diário de trafego, Vm, num sentido, durante um período P de projeto definido previamente, teremos então:

$$V_m = \frac{V_1[2 + (P - 1)t / 100]}{2}$$

Equação 2

Admitindo a taxa de crescimento em progressão aritmética, teremos o volume total do tráfego durante o período, V_t , dado por:

$$V_t = V_m \times 365 \times P$$

Equação 3

Enquanto o volume total de tráfego, V_t , para uma taxa de crescimento em progressão geométrica será:

$$V_t = \frac{365V_1[((1 + t/100)^p) - 1]}{t/100}$$

Equação 4

3.1.2 Classificação da Frota

A frota como atualmente a conhecemos é classificada em: veículos leves, caminhões e ônibus convencionais, caminhões e ônibus longos, semirreboques e reboques. O Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) fala que devido aos efeitos gerados pelas diferentes cargas ao pavimento, levou-se a necessidade de uma classificação da frota.

Tabela 1 - Dimensões básicas dos veículos de projeto.

Designação do veículo tipo Características	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)	Reboques (RE)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8	19,8
Raio min. da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0	6,9

Fonte: DNIT (2006a).

3.1.3 Carregamento da Frota

Diante das diferenças dos esforços gerados nos pavimentos, faz-se necessário saber a carga presente em cada eixo, dos diferentes tipos de veículo,

para então elaborar previsões de solicitações futuras. De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), fez-se uma pesquisa de levantamento de dados em 28 postos de pesagem permanentes do Brasil, onde apresentou como resultado a tabela abaixo:

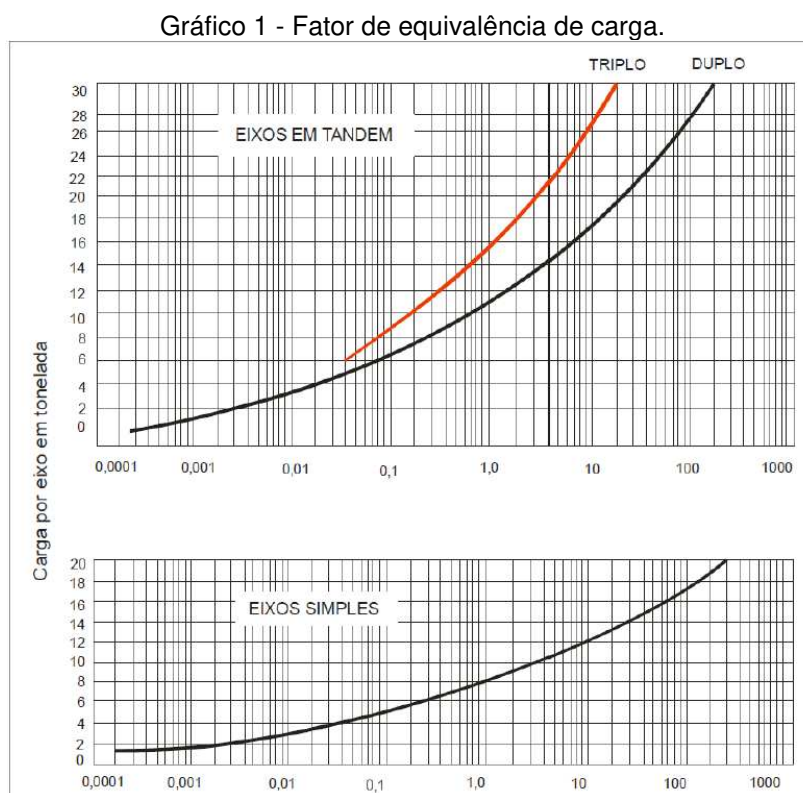
Na classificação adotada pelo DNIT, o primeiro algarismo representa o número de eixos do cavalo mecânico e o segundo, o número de eixos do semi-reboque, assim como a apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Veículos adotados na classificação do DNIT.

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MAX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MAX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t d12 ≤ 3,50m	2C		4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3S1
	3	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t d12 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C		4	36(37,8)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10m d12, d23, d34 > 2,40m	2C2
	3	26(27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t d12, d23 > 2,40m	2S1		5	41,5(43,6)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4E5 = TT, CM 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	4	31,5(33,1)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT, CM = 26,5t d12 > 2,40 1,20m < d23, d34 ≤ 2,40m	4C		5	40(42)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	4	29(30,5)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t E3E4 = TD, CM = 17t 1,20m < d34 ≤ 2,40m	4CD		5	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34, d45 > 2,40m	2I3
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t d12, d23 > 2,40m 1,20m < d34 ≤ 2,40m	2S2		5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2J3
	4	36(37,8)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2I2		5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I2
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MAX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MAX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	5	43(45,2)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2C3		6	50(52,5)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3D3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C2		7	57(59,9)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3		7	57(59,9)	BI TREM ARTICULADO(caminhão trator trucado + dois semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I3		7	63(66,2)	TREMINHAO(caminhão trucado + dois reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t E7 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3Q4
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3		9	74(77,7)	TRI TREM(caminhão trator trucado + três semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3T6
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3					
	6	19,5(20,5)	CAMINHÃO TRATOR E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD(6 pneus), CM 13,5t 1,20m < d23 ≤ 2,40m A CMT do conjunto vai variar conforme a capacidade do semi-reboque, no mínimo 10 ton até, no máximo o limite legal de 4r ton.	X					

3.1.4 Fatores de Equivalência

Para se calcular o número N de um projeto de pavimentação, é necessário levar em conta fatores de equivalência que segundo Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) levam em consideração a carga diferenciada de atuação dos eixos como fator de carga, (FC), que significa o número que multiplicado ao número de eixos carregados resulta no número de eixos equivalentes ao eixo padrão, relacionam também o fator de eixos (FE), coeficiente que multiplicado pelo número de veículos que circulam resulta no número de eixos correspondentes.



Ao entrar com valores de carga dos veículos carregados no eixo especificado na Gráfico 1, encontramos o valor do fator de equivalência de carga. A linha que se encontra no gráfico em vermelho foi adicionada por Murillo Lopes de Souza pelo fato de que na época em que foram elaborados esses dados, não existiam veículos de eixos triplo.

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), enquanto os fatores de carga da AASHTO apresentados na Tabela 3 leva em

consideração a perda de serventia, os fatores de carga da USACE apresentados na Tabela 4 avaliaram os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda).

Tabela 3 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO.

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simple de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simple de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

Fonte: DNIT (2006a)

Tabela 4 - Fatores de Equivalência de carga da USACE.

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Fonte:DNIT (2006a)

O fator de veículo (FV) de acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) está relacionado à composição do tráfego referentes a cada categoria de veículo, aos pesos das cargas transportadas e sua disposição nos eixos, geralmente calculado pela seguinte equação:

$$FV = \frac{\sum (P_i) \cdot (FV_i)}{100} \quad \text{Equação 5}$$

$$FV = (FC) \cdot (FE) \quad \text{Equação 6}$$

Onde;

P_i = percentagem com que cada categoria de veículos ocorre na estrada;

FV_i = fator de veículos individual para cada categoria de veículo.

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006), fala também que devemos multiplicar o numero equivalente de eixo-padrão por um coeficiente (Fr)

correspondente a um fator climático regional, variando de 0,2 a 5,0, equivalente a um clima de baixo teor de umidade e um clima com os materiais saturados respectivamente. Balbo (2007) complementa que a inclusão de um fator de sentido (F_s) deve ser levado em consideração, com valores de 1,0 para vias com único sentido e 0,5 para vias com dois sentidos, argumenta também que deve-se incluir um fator de distribuição (F_d) que representa a porcentagem de veículos comerciais que utiliza tal faixa, variando de 0,8 a 1,0 e para o caso de haver acostamentos, utilizar o F_d entre 0,01 e 0,05.

$$N = V_t.(F_v).(F_r).(F_d).(F_s) \quad \text{Equação 7}$$

3.1.5 Dimensionamento das Espessuras das camadas

O método de dimensionamento empírico brasileiro foi desenvolvido pelo extinto DNER através do Eng.^o Murillo Lopes de Souza na década de 1960, que foi ajustado do método da USACE elaborado na década de 1950, que possui como principal variável de entrada o CBR.

A grande maioria dos pavimentos rodoviários nacionais foram dimensionados utilizando este método, que visa principalmente a proteção do subleito quanto a tensão admissível (MEDINA; MOTTA, 2015).

O método introduz o conceito de equivalência estrutural, que foi desenvolvido baseado nos dados experimentais obtidos a partir de testes na pista experimental da AASHTO, que compara a resistência a penetração dos materiais de subleito à brita graduada, tida como padrão. Por se tratar de um método que utiliza parâmetros observados em campo, este é chamado de método empírico.

A espessura do pavimento estava relacionada com o (CBR), definida como a resistência à penetração de um subleito do solo em relação a um padrão brita graduada. O método CBR de projetos foi estudado extensivamente pela U.S. Corps of Engineers durante a Segunda Guerra Mundial e tornou-se um método muito popular após a guerra. (HUANG, 2004, p.2)

De acordo com Manual de Pavimentação do DNIT (2006), os materiais empregados nas camadas do pavimento devem seguir certas restrições apresentados na Tabela 5 para serem empregados.

Tabela 5 - Condições para o dimensionamento do pavimento.

MATERIAL	RESTRIÇÕES BÁSICAS
Solo de subleitos (CFT) ou	Expansão máxima, no ensaio de CBR para reforços de subleitos (com imersão de quatro dias) de 2% Se CBR < 2% preferível substituição de 1 m por material com CBR > 2%
Reforços granulares para subleitos (misturas solo-agregado)	CBR superior ao subleito, expansão $\leq 2\%$
Sub-bases granulares ou melhoradas com cimento	CBR $\geq 20\%$; Índice de grupo = 0; expansão $\leq 1\%$ (sobrecarga de 4,536 kg)
Bases granulares	CBR $\geq 80\%$, o qual, para $N \leq 10^6$, admite-se CBR $\geq 60\%$ Expansão $\leq 0,5\%$ (sobrecarga de 4,536 kg); LL ≤ 25 e IP ≤ 6 (se LL e IP forem superiores, poderá ser empregado o material que, respeitando as demais condições, apresente equivalente de areia superior a 30%) Há restrições de granulometria. Recomenda-se aumentar 20% de H20 quando $N > 10^7$; admite-se (0,2.H20) para sub-base com material de CBR > 40% e $N \leq 10^6$
Qualquer camada granular (restrições de compactação)	Espessura mínima de 150 mm e máxima de 200 mm

Fonte: Balbo (2007)

Necessitando levar em consideração a diferença de materiais que compoem as diferentes camadas do pavimento, Balbo (2007) fala que fez-se indispensável a adoção de coeficientes de equivalentes estruturais para esses mesmos materiais, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Coeficientes de equivalência estrutural.

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré- misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT (2006b)

O dimensionamento do pavimento adotou segundo Balbo (2007) uma espessura mínima para o revestimento com bases de comportamento puramente granulares, baseado na experiência de campo depois do AASHO Road Test, de

acordo com o número N encontrado, tomado como um eixo simples padrão com carga de 8,2tf e motradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Espessuras mínimas adotadas de revestimento betuminoso.

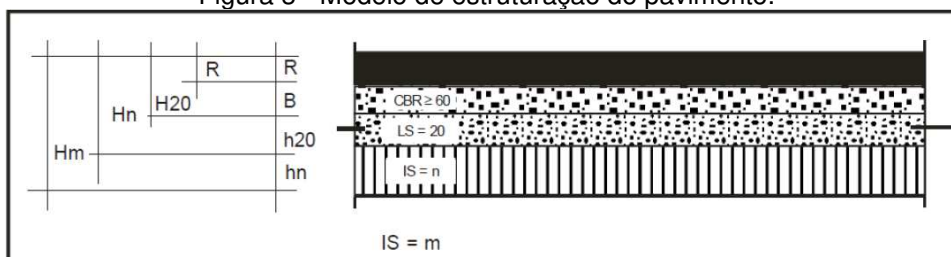
N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2006b)

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) a adoção de espessuras mínimas para revestimentos betuminosos ainda é um ponto aberto na engenharia.

A partir de um modelo apresentado na Figura 3, foram obtidas as inequações apresentadas abaixo para determinar as espessuras do pavimento, onde K_r , K_b , K_s e K_n , são os coeficientes de equivalência estrutural apresentados na Tabela 7 de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito respectivamente. Os valores R , B , h_{20} e h_n , são das espessuras revestimento, base, sub-base e reforço do subleito respectivamente, enquanto H_{20} , H_n e H_m e de acordo com Balbo (2007), são as espessuras das camadas sobre a sub-base, reforço do subleito e subleito, onde são dimensionadas entrando com o valor de CBR e número “N” de solicitações do eixo padrão, no ábaco apresentado no Gráfico 2 ou na expressão encontrada a partir de regressão linear múltipla.

Figura 3 - Modelo de estruturação do pavimento.



Fonte: DNIT (2006b)

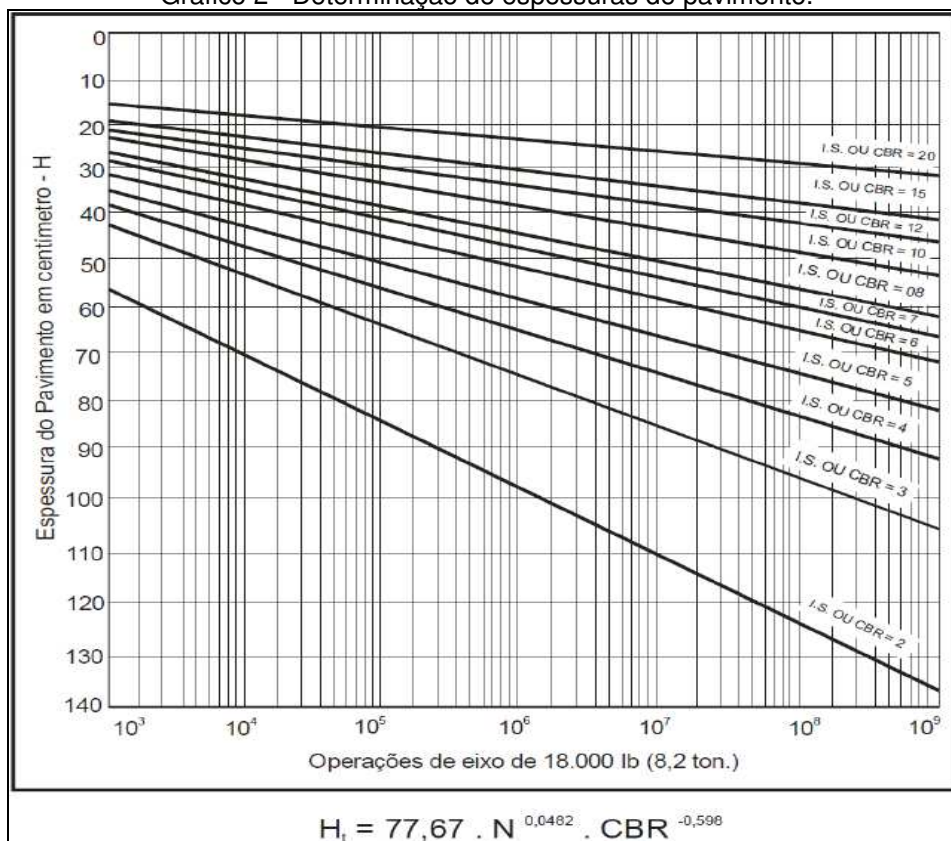
$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

Equação 8

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

Gráfico 2 - Determinação de espessuras de pavimento.



Fonte: DNIT (2006b)

Vale ressaltar que, mesmo encontrando o CBR da sub-base maior que 20%, é dimensionado o pavimento com esse valor fixado a fim de proteger o subleito, indica o Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

4 MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DO SISPAV

O método mecanístico veio por meio da análise de tensões, deformações e deslocamentos produzidos pelo tráfego e condições regionais, determinar o efeito gerado nas camadas do pavimento, evitando a sua degradação durante a período de projeto determinado. Ele tem principais parâmetros de entrada: os fatores ambientais com os valores temperatura e umidade, o tráfego com determinação do número “N” e as características dos materiais utilizados com valores de módulo de resiliência e coeficiente de poisson.

Medina e Motta (2015) complementam que os efeitos do tráfego são tratados agora levando em consideração os vários tipos de carga por eixo e não mais pelo número N de repetições de um eixo padrão de 80 KN de rodas duplas.

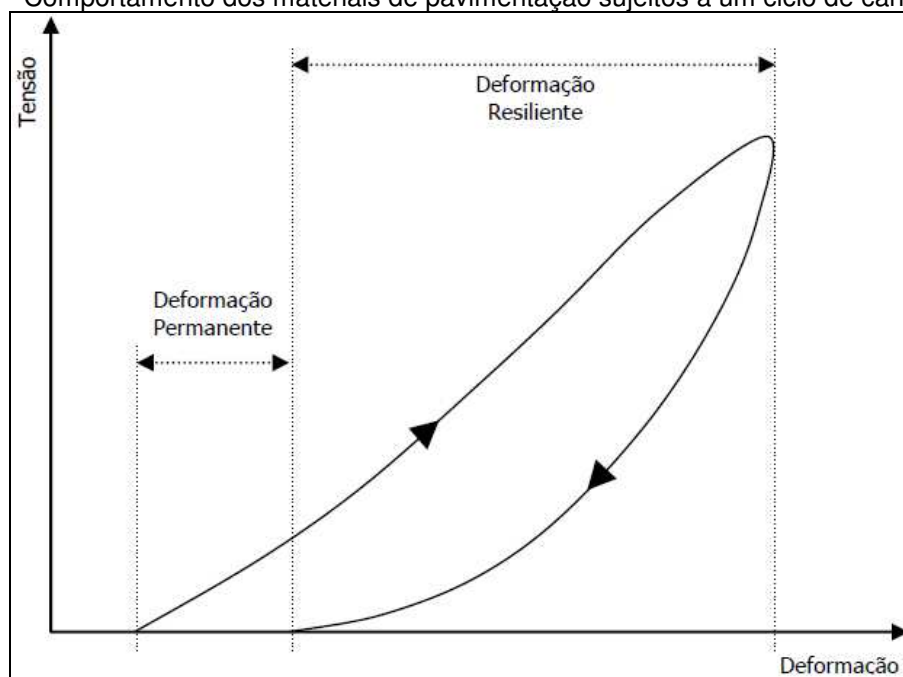
Segundo Franco (2007, p.21), os danos considerados para efeito de dimensionamento são: a deformação permanente limite no topo do subleito; a deflexão máxima na superfície do pavimento; e o dano de fadiga da camada asfáltica ou cimentada.

4.1 Resiliência

Por volta de 1930, Francis Hveem de acordo com Bernucci *et al.* (2006) foi quem adotou o termo resiliência como “energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações”. Medina e Motta (2015) dizem também que as deformações recuperáveis sofridas pelos pavimentos flexíveis são maiores comparados ao concreto e aço.

A deformação total dos materiais que compõem o pavimento tem duas componentes, uma recuperável chamada de resiliente e outra irrecuperável chamada de permanente, mostrado no Gráfico 3. Medina e Motta (2015) diz que a deformação resiliente é responsável a vida de fadiga.

Gráfico 3 - Comportamento dos materiais de pavimentação sujeitos a um ciclo de carregamento.



Fonte: Lekarp *et al.*, 2000a apud Franco (2007).

O ensaio de módulo de resiliência, no Brasil, direcionado para misturas asfálticas é o DNIT-ME-135/2010, enquanto aquele que conduz as regras para determinação do módulo de resiliência dos solos é o DNIT-ME-134/2010.

Sendo o módulo de resiliência descrito por Franco (2007), como a razão entre a tensão de desvio aplicada repetidamente (σ_t) e a deformação resiliente axial correspondente (ε_{tr}) no ensaio triaxial, apresentada na seguinte:

$$M_r = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_{tr}} \quad \text{Equação 9}$$

A maneira mais correta de se desvendar o valor do módulo de resiliência é através da realização de ensaio, caso não se dispuser do ensaio anteriormente especificado, pode se estimar esse valor através do IP-08 da Prefeitura Municipal da Municipal de São Paulo, no qual relaciona o CBR dos diferentes tipos de materiais presentes nas camadas do pavimento, com o valor do módulo de resiliência. Apresentados na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Estimativa de módulo de resiliência.

CAMADAS	TIPOS	ESTIMATIVAS EM MPa
SUBLEITO	LATERÍTICO (LA' e LG')	$E_{SL} = 22,0 (CBR)^{0,8}$
	NÃO LATERÍTICO (NS' e NG')	$E_{SL} = 18,0 (CBR)^{0,64}$
	ARENOSO <i>POUCO</i> OU NÃO COESIVO (LA, NA e NA')	$E_{SL} = 14,0 (CBR)^{0,7}$
REFORÇO	LATERÍTICO (LA' e LG')	$E_{REF} = 22,0 (CBR)^{0,8}$
	NÃO LATERÍTICO (NA' e NG')	$E_{REF} = 18,0 (CBR_{REF})^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3CBR_{SL}}{CBR_{REF}}}$
SUB-BASE	GRANULAR	$E_{REF} = 18,0 (CBR_{SB})^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3CBR_{SL}}{CBR_{SB}}}$
BASE	GRANULAR	$100 \leq E_B \leq 500$
	BETUMINOSA	$800 \leq E_B \leq 1.000$
	CIMENTADA (BGTC)	$5.000 \leq E_B \leq 15.000$
MISTURAS BETUMINOSAS	CONCRETO ASFÁLTICO (C.A.)	$3.000 \leq E_{CA} \leq 5.000$
	PRÉ-MISTURADO A QUENTE (PMQ)	$2.000 \leq E_{PMQ} \leq 2.500$
	BINDER	$1.400 \leq E_{BD} \leq 1.800$
	PRÉ-MISTURADO A FRIO (PMF) OU MACADAME BETUMINOSO SELADO	$1.000 \leq E_{PMF} \leq 1.400$

Fonte: IP-08 (2002).

O IP-08 (2002) também comenta que caso sejam adotadas bases mistas, deverá ser adotado o módulo de resiliência correspondente ao material de menor valor.

Descreve também, caso esteja disponível valores de resultados do ensaio Marshall para misturas asfálticas, é possível estimar o valor de E pela seguinte correlação.

$$E = 340 \left(\frac{E_B}{F} \right)^{0,5} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

E_B = Estabilidade (kgf);

F = Fluência (1/100");

E = Modulo de Elasticidade (MPa).

Segundo Franco (2007), o valor do módulo de resiliência de mistura asfáltica varia de acordo com as características da mistura, segundo ele o módulo:

- a) varia com a granulometria da mistura sendo maior quanto mais grossa for a faixa;
- b) varia com o ligante asfáltico sendo maior quanto menor a penetração no asfalto ou maior a sua viscosidade;
- c) é influenciado pela relação asfalto/fíler e a própria natureza do fíler.

4.2 Modelos de previsão de desempenho

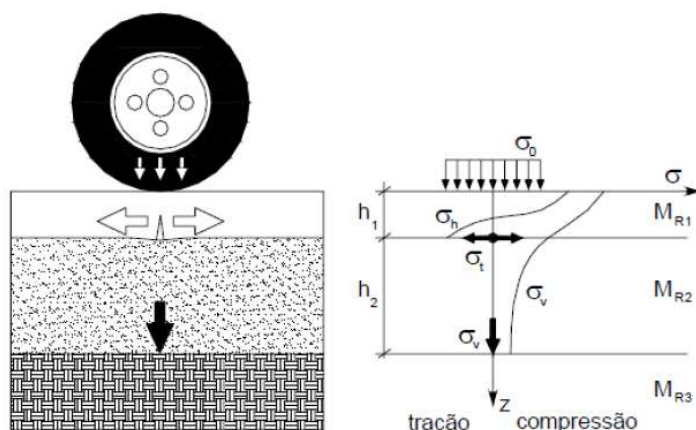
Todo o conceito de dimensionamento pelo método mecanístico-empírico é baseado em uma forma de racionalizar o dimensionamento e maximizar o desempenho do mesmo. Desta forma, se faz imprescindível antever o comportamento da estrutura quando submetida a carregamentos repetitivos ao longo de sua vida útil.

Desta forma, anos de pesquisa resultaram em modelos que são decisivos para se avaliar como o pavimento irá se comportar ao longo de sua operacionalidade. Franco (2007) menciona dois dos principais deles: a fadiga e a deformação permanente.

4.2.1 Fadiga

Devido a passagem constante de veículos é gerado um esforço de flexão no pavimento, onde deformações elásticas se recompõem e outra parte não como explicado no item 4.1. Como todo esforço normal provoca tensões internas de compressão e tração, de acordo com Franco (2007) ao longo do tempo, devido a esses esforços repetitivos o revestimento asfáltico perde gradativamente sua resistência, chegando a ruptura estrutural. Segundo Medina e Motta (2015) a fadiga inicia-se na parte inferior do revestimento, onde ocorrem os maiores esforços de tração e vão em direção a superfície da seguinte maneira mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Esquema de tensões no interior do Pavimento.



Fonte: Medina e Motta (2015).

Franco (2007) diz que nos materiais asfálticos, a fadiga ocorre pela repetição da aplicação das cargas oriundas do tráfego de veículos sobre os pavimentos, gerando microfissuras na estrutura. Franco (2007) comenta também que a fadiga das misturas asfálticas é considerada como um importante fator para o bom dimensionamento de estruturas de pavimentos e, portanto, seu comportamento deve ser bem conhecido e devidamente caracterizado.

Salomão Pinto (1991) apud Franco (2007), baseou-se em uma análise de 82 pontos de ensaios de fadiga à tensão controlada de seis misturas asfálticas, a 25°C. O método de ensaio utilizado foi o de compressão diametral, com aplicação de 60 pulsos de carga por minuto e 0,14 segundos de duração da aplicação da carga repetida, é apresentada na expressão obtida através de regressão:

$$N_{lab} = 9,07 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{I}{\varepsilon_t} \right)^{2,65} \cdot \left(\frac{I}{MR} \right)^{-0,033} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

N_{lab} = é a vida de fadiga em laboratório;

ε_t = é a deformação específica de tração;

MR = Modulo de resiliência da mistura asfáltica.

Enquanto na Tese de Franco de acordo com dados obtidos laboratorialmente, a partir de resultados de 54 ensaios de laboratório encontrou-se o seguinte modelo:

$$N_f = fcl \cdot k_1 \cdot \varepsilon_i^{k_2} \cdot Mr^{k_3}$$

Equação 12

Onde:

Nf = Vida de fadiga;

Mr = Módulo de resiliência em Mpa;

= Deformação específica de tração;

K1, k2 e k3 = são coeficientes de regressão.

4.2.2 Deformação Permanente

Mais conhecido como afundamento em trilhas de roda, Gonçalves (1999) define que são consequências de deformações plásticas ocorridas nas camadas do pavimento, onde se tornam imperceptíveis a olho nu, sendo percebido apenas quando ocorrem chuvas e a água proveniente das mesmas fica acumulada na via, podendo levar ao comprometimento estrutural e a ocorrência de hidroplanagem.

“A limitação da tensão vertical que atua no topo do subleito é um dos critérios utilizados atualmente para o projeto de pavimentos, uma vez que se supõe sempre que o subleito é a camada de menor resistência ao cisalhamento, visto ser o material local e, portanto, o mais sensível às deformações plásticas” (MOTTA, 1991 apud FRANCO, 2007, p.170).

De acordo com Franco (2007), sua previsão pode ser feita através da fórmula a seguir proposta:

$$\sigma_{adm} = \frac{0,006 \cdot M_R}{1 + 0,7 \cdot \log N}$$

Equação 13

σ_{adm} = a tensão vertical admissível no topo do subleito;

Mr = módulo de resiliência do subleito, em kgf/cm²;

N = número de aplicações de carga.

Pode-se usar modelos de deterioração da deformação vertical limite no topo do subleito ou no conjunto das camadas, apresentada na expressão a seguir e com valores apresentados na Tabela 9:

$$\varepsilon_v = A \cdot N^B$$

Equação 14

Onde:

ϵ_v = deformação vertical limite no topo do subleito;

A e B = são constantes de regressão determinadas experimentalmente;

N = número de repetições de carga.

Tabela 9 - Constantes de regressão determinadas experimentalmente.

Nível de confiança	A	B
50%	0,028	-0,25
85%	0,021	-0,25
95%	0,019	-0,21

Fonte: (MONISMITH e BROWN, 1999 apud FRANCO, 2007, p.171).

4.3 Interação com o programa

O software a ser é o SisPav(10/09/07) desenvolvido por Franco (2007) em sua tese de doutorado na COPPE/UFRJ, traz dados padrões pré-estabelecidos que poderão ser alterados ou não pelo projetista, porém exige certo grau de discernimento e experiência do usuário.

Para se poder determinar o coeficiente de Poisson dos materiais na tese de Franco (2007) são necessários ensaios laboratoriais com os mesmos para obter parâmetros significativos, como não se disponibilizou de tal, usou-se como parâmetro os valores básicos de coeficiente de Poisson para serem usados nos possíveis materiais indicados pelo IP-08 (2002), sendo:

- a) CAUQ e PMQ: de 0,30 a 0,35;
- b) BGTC: de 0,20 a 0,25;
- c) Materiais Granulares: de 0,40 a 0,50;
- d) Solos: de 0,45 a 0,50;
- e) CCR: 0,20.

Na tela principal do SisPav(10/09/07) apresentado na Figura 5 na Aba estrutura, atribuímos inicialmente uma estrutura previamente definida para que seja testada a composição de acordo os materiais que se possui no local.

Figura 5 - Aba estrutura.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.075	0.337	3	4193.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
x 2	Material granular	0.180	0.350	1	1000.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.200	0.350	3	130.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.400	3	52.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Abortar

Fonte: Própria.

Após definir-se quantas camadas terão a estrutura, é selecionada cada camada e pressionando o botão “Alterar Estrutura”, entra-se com os dados físico-mecânicos dos materiais presentes das camadas do pavimento, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Entrada de dados.

Propriedades da camada

Camada selecionada -> 2

Material: Mistura asfáltica

Espessura (m): 0.1800

Coeficiente de Poisson: 0.3500

Aderência na interface: 0.0000

Modelo constituinte (MPa)

3 - Elástico linear

Mr (MPa) 1000.0000

Parâmetros

Tipo de CAP	CAP 50/70
Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm	60.0
Ao (visc x T)	11.123
VTSO (visc x T)	-3.713
Volume de vazios (%)	4.5
Teor de asfalto (%)	6.0
RBV (%)	73.5
Faixa Granulométrica (DNIT)	Faixa B
% passando #3/4	90.0
% passando #3/8	62.5
% passando #4	44.0
% passando #200	5.5
Identificação	
Massa específica (kg/m³)	

Valores sugeridos >> OK Cancel

Fonte: Própria.

Na “Aba tráfego” demonstrado na Figura 7, o programa considera nos cálculos o carregamento com maior precisão, onde deve-se compor o carregamento de acordo com o levantamento feito *in loco* e dependendo de quantas faixas apresentar o projeto, preencher com a porcentagem atendida, definindo assim o número “N” que irá atuar no projeto em curso. Segundo Franco (2007) o programa

possui campos suficientes para inserir até 50 configurações de eixos. Os tipos de eixos pré-definidos podem ser repetidos para permitir variar o volume, a taxa de crescimento, o peso ou a pressão de pneus.

Figura 7 - Aba tráfego com para inserção da sua composição de tráfego.

Fonte: Própria.

Marca-se com “x” na “Aba Estrutura” apresentado na Figura 5, a camada do pavimento que você deseja dimensionar inicialmente para ter ideia de como ficará a composição de forma a se atingir a vida de projeto desejável que de acordo com a norma vigente varia de 10 a 20 anos, faz-se o mesmo procedimento para todas camadas.

Logo após, pode se modificar os dados que serão utilizados na análise de desempenho abordada no item 4.2, caso haja discernimento e um estudo laboratorial dependendo do tipo de material ou escolher valores pré-definidos pelo programa, como um deles apresentado na Figura 8.

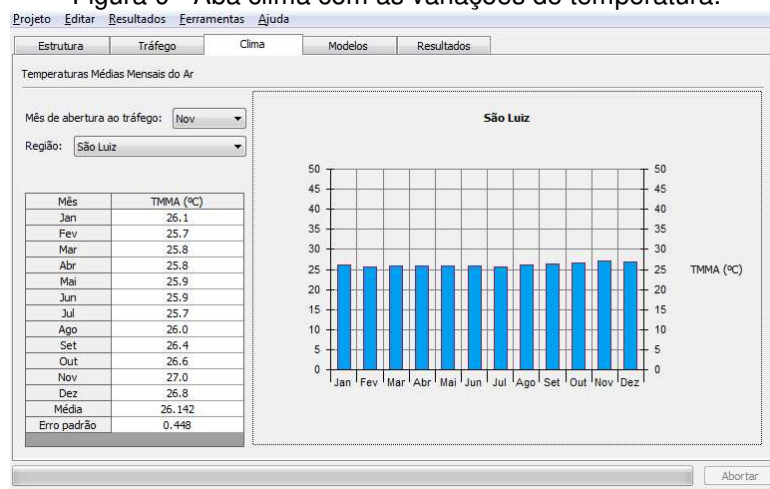
Figura 8 - Tipos de modelos de análise de desempenho.

Fonte: Própria.

Na “Aba Clima” deve leva-se em consideração o comportamento termo-visco-elasto-plástico do revestimento, onde o programa apresenta as médias anuais de temperatura do ar de cada capital brasileira, exposta na Figura 9.

Seleciona-se a cidade na qual o projeto estará em curso e o mês em que será a abertura do tráfego, assim estará dimensionando a estrutura para os estados críticos em que ela será condicionada.

Figura 9 - Aba clima com as variações de temperatura.



Fonte: Própria.

“Todas as informações dessa janela são utilizadas na avaliação do envelhecimento do ligante asfáltico da camada de revestimento do pavimento. O clima irá influenciar os valores do módulo de resiliência e do coeficiente Poisson da referida camada. Com as informações do clima, o algoritmo do programa consegue conjugar os efeitos do envelhecimento da mistura asfáltica com o impacto da variação mensal dos carregamentos sobre a vida de projeto e o acúmulo de danos na estrutura” (FRANCO, 2007, p.234).

Com todos os parâmetros que o pavimento deverá suportar e todos os materiais que irão compô-lo, no item “Ferramentas”, seleciona-se a opção “Opções” para definirmos o nível de confiabilidade, a tolerância do dimensionamento e considerar os efeitos dos danos relativos à deflexão máxima no revestimento, os danos relativos à tensão limite admissível no topo e definir o limite máximo para deformação permanente na superfície do subleito, apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Opções de configuração.

Opções

Tolerância do dimensionamento (%): 2.00

Número máximo de tentativas: 20

Nível de confiabilidade (%): 50%

☐ Considerar o dano relativo à deflexão máxima admissível na superfície do pavimento.

☐ Considerar o dano relativo à tensão admissível no topo do subleito do pavimento.

☒ Estimar a Deformação Permanente na superfície do pavimento. Limite (cm) = 1.25

☒ Calcular a bacia de deflexão para controle de campo.

Bacia de deflexão de projeto

☐ FWD

☒ Viga Benkelman

Raio do carregamento (m): 0.108

Pressão de contato (MPa): 0.56

Posição dos Sensores (m):

1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	0.20	0.30	0.45	0.60	0.90	1.20	1.50

OK Cancel

Fonte: Própria.

Após isso, definido a camada que você irá dimensionar primeiramente, aperta-se “F2” para dimensioná-la de acordo com a estrutura e o nível de tráfego preenchido. Agora para a definição das espessuras serão necessárias inúmeras tentativas de combinações de camadas, onde a partir da necessidade econômica será definida qual estrutura será economicamente mais viável.

5 ELSYM5

O Elsym5 é um programa escrito em linguagem Fortran, que tem empregado no seu código, de acordo com Balbo (2007) o Método das diferenças finitas elaborado na década de 1960 e adotando o modelo de Burmister como critério de análise. Ele trata da resolução de problemas de pavimentos com até cinco camadas e considerando que as algumas hipóteses sejam atendidas.

De acordo com Balbo (2007) são:

- a) todas as camadas são elásticas e lineares em termos de respostas do material;
- b) todas as camadas são infinitas na direção horizontal;
- c) todas as camadas possuem espessura constante;
- d) não existem descontinuidade na superfície do pavimento;
- e) não existem forças de gravidade agindo no sistema;
- f) não existem deformações nem tensões residuais.

Essas hipóteses são feitas de maneira a simplificar o método ali aplicado de acordo com a Lei de Hooke, mesmo sabendo que os materiais granulares e dos solos finos não apresentam um comportamento elástico linear Franco (2007) descreve como principais fatores de se escolher a solução:

- a) é comum admitir um modelo elástico linear para as misturas asfálticas, para uma determinada temperatura;
- b) a teoria da elasticidade linear tem sido a base para a maior parte das aplicações práticas, podendo ser utilizada com um grau de confiança razoável, principalmente quando o pavimento possui espessas camadas asfálticas ou camadas cimentadas;
- c) os parâmetros necessários para a análise podem ser facilmente obtidos com os recursos disponíveis em laboratórios de solos existentes no Brasil.

No programa são necessários alguns dados de entrada para que ele, a partir disso gere resultados que serão analisados.

Passo a passo do programa:

1. Definir nomes de arquivos de entrada e saída: “nome do arquivo”.ent, “nome do arquivo”.sai. Título, número de sistemas;
2. Definir número de camadas: no máximo 5 (conta-se o subleito como uma camada);
3. Número de cargas idênticas: 2 (utilizar a carga de eixo padrão para rodas duplas de 8200kgf);
4. Número de Pontos de análise: 2 (são analisados os 2 eixos em contato com o pavimento);
5. Número de profundidades solicitadas para análise: 3;
6. Dados corretos: sim;
7. Definir dados das camadas conforme sua posição: Número da camada, espessura da camada, coeficiente de Poisson da camada, módulo de resiliência da camada; (a camada do subleito deve ser preenchida com valor 0, por ser considerada um meio semi finito ou finito);
8. Valor da carga: 2050 kgf (8200kgf/4);
9. Distância entre as cargas: 28,8;
10. Pressão da carga: 5.6 (valor padrão);
11. Raio de aplicação da carga: 0 (neste caso, o valor do raio deve ser 0, pois só podem ser inseridas 2 propriedades);
12. Definir coordenadas para primeira carga: $x = 0$, $y = 0$;
13. Definir coordenadas para segunda carga: $x = 28,8$ $y = 0$;
14. Definir ordenada X do ponto de análise: $x = 14,4$; (ponto médio entre as cargas);
15. Definir profundidades para pontos de análise: topo do revestimento para saber-se a deflexão observada no revestimento, ponto pertencente a última fibra encontrada antes do fim da camada de revestimento para saber-se a deformação de tração que ocorrerá que originarão possíveis trincas e o ponto pertencente a primeira fibra na camada do subleito para analisar a deformação permanente que ocorrerá no subleito.

Após a obtenção dos resultados de saída do programa, faz-se de acordo com Balbo (2007) a verificação das seguintes características apresentadas na Figura 10.

Tabela 10 - Posições críticas a serem analisadas em pavimentos flexíveis.

POSIÇÃO	RESPOSTA	EMPREGO DA RESPOSTA
Revestimento (superfície)	Deflexão	Projetos de reforço de pavimentos
Revestimento (fundo)	Deformação horizontal	Análise de fadiga
Fundo de camadas tratadas	Tensão horizontal	Análise de fadiga
Meia-altura de camadas	Deformação vertical de compressão	Análise de deformação plástica
Topo do subleito	Deformação vertical de compressão	Análise de deformação plástica

Fonte: Balbo (2007, p.307)

No arquivo de saída “nomedoarquivo”.sai, serão analisados os seguintes resultados:

D = deslocamento no ponto de análise (utilizamos o valor de deslocamento em Z, sendo que os resultados saem em centímetro no programa, havendo necessidade de conversão);

ξ_t = deformação de tração horizontal (descarta-se os valores negativos e utiliza-se o maior dentre os listados nos eixos XX e YY);

ξ_v = deformação vertical somente eixo z (o valor mais desfavorável).

6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

6.1 Proposição das condições de dimensionamento

Para melhor análise comparativa dos dois métodos de dimensionamento apresentados, estabeleceu-se a variação do volume de tráfego com os valores de CBR do subleito. O número “N” foi adotado sem os cálculos apresentados no item 3.1.5 e será representado pelos valores de 6.00E+05, 5.00E+06 e 1.00E+07, caracterizando assim um tráfego leve, médio e pesado e um CBR de subleito em 3%, 6% e 10%, onde fixou-se os valores de CBR da base em 80%, da sub-base em 20% e do reforço em 12%. Resultaram, portanto, 9 estruturas de pavimentos para serem dimensionados por cada método.

6.2 Dimensionamento das estruturas de pavimento usando o método do DNIT

Estrutura 1

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
6,00E+05	3,00	12,00	1,20	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N, determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 76\text{cm}$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 3\text{ cm}$ de Tratamento Superficial.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o CBR = 20% (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$3 * 1,2 + B * 1 = 25$$

$$B = 21\text{cm}$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número “N”.

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$3 * 1,2 + 21 * 1 + h_{20} * 1 = 33$$

$$h_{20} = 9cm \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (3%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$3 * 1,2 + 21 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 76$$

$$h_n = 37cm$$

O dimensionamento resultou em:

Figura 11 - Espessuras da estrutura 1 - DNIT.

CBRsub = 3% ; N = 6,0E5		
revestimento		3
base		21
sub base		15
reforço		37

Fonte: Própria.

Estrutura 2

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
6,00E+05	6,00	12,00	1,20	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N, determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 51cm$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 3$ cm de Tratamento Superficial.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o $CBR = 20\%$ (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$3 * 1,2 + B * 1 = 25$$

$$B = 21cm$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número “ N ”.

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$3 * 1,2 + 21 * 1 + h_{20} * 1 = 33$$

$$h_{20} = 9cm \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (6%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$3 * 1,2 + 21 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 51$$

$$h_n = 11cm \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

O dimensionamento resultou em:

Figura 12 - Espessuras da estrutura 2 - DNIT.

CBRsub = 6% ; N = 6,0E5		
revestimento		3
base		21
sub base		15
reforço		15

Fonte: Própria.

Estrutura 3

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
6,00E+05	10,00	12,00	1,20	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N, determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 37\text{cm}$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 3\text{ cm}$ de Tratamento Superficial.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o CBR = 20% (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$3 * 1,2 + B * 1 = 25$$

$$B = 21\text{cm}$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número "N".

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$3 * 1,2 + 21 * 1 + h_{20} * 1 = 33$$

$$h_{20} = 9\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (10%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$3 * 1,2 + 21 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 37$$

$$h_n = -2\text{cm} \text{ (Nesse caso não haverá a camada de reforço).}$$

Como não haverá uma camada de reforço é necessário verificar a espessura da sub-base para uma nova altura equivalente de valor H_m .

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_m$$

$$3 * 1,2 + 21 * 1 + h_{20} * 1 = 37$$

$$h_{20} = 13\text{cm} \text{ (Ainda assim a espessura resultou menor que 15 cm)}$$

O dimensionamento resultou em:

Figura 13 - Espessuras da estrutura 3 - DNIT.

CBRsub = 10% ; N = 6,0E5		
revestimento		3
base		21
sub base		15

Fonte: Própria.

Estrutura 4

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
5,00E+06	3,00	12,00	2,00	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N, determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 85\text{cm}$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 5\text{ cm}$ de Concreto Asfáltico.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o $\text{CBR} = 20\%$ (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006)).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$5 * 2 + B * 1 = 27$$

$$B = 17\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número "N".

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$5 * 2 + 17 * 1 + h_{20} * 1 = 37$$

$$h_{20} = 10\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (3%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$5 * 2 + 17 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 85$$

$$h_n = 42cm$$

O dimensionamento resultou em:

Figura 14 - Espessuras da estrutura 4 - DNIT.

CBRsub = 3% ; N = 5,0E6		
revestimento		5
base		17
sub base		15
reforço		42

Fonte: Própria.

Estrutura 5

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
5,00E+06	6,00	12,00	2,00	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N, determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 56cm$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 5$ cm de Concreto Asfáltico.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o $CBR = 20\%$ (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006)).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$5 * 2 + B * 1 = 27$$

$$B = 17cm$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número "N".

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$5 * 2 + 17 * 1 + h_{20} * 1 = 37$$

$$h_{20} = 10cm \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (6%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$5 * 2 + 17 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 56$$

$h_n = 14\text{cm}$ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).

O dimensionamento resultou em:

Figura 15 - Espessuras da estrutura 5 - DNIT.

CBRsub = 6% ; N = 5,0E6		
revestimento		5
base		17
sub base		15
reforço		15

Fonte: Própria.

Estrutura 6

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
5,00E+06	10,00	12,00	2,00	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N, determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 41\text{cm}$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 5\text{ cm}$ de Concreto Asfáltico.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o $\text{CBR} = 20\%$ (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006)).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$5 * 2 + B * 1 = 27$$

$$B = 17\text{cm}$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número "N".

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$5 * 2 + 17 * 1 + h_{20} * 1 = 37$$

$h_{20} = 10\text{cm}$ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (10%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$5 * 2 + 17 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 41$$

$h_n = -1\text{cm}$ (Nesse caso não haverá a camada de reforço).

Como não haverá uma camada de reforço é necessário verificar a espessura da sub-base para uma nova altura equivalente de valor H_m .

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_m$$

$$5 * 2 + 17 * 1 + h_{20} * 1 = 41$$

$h_{20} = 14\text{cm}$ (Ainda assim a espessura resultou menor que 15 cm)

O dimensionamento resultou em:

Figura 16 - Espessuras da estrutura 6 - DNIT.

CBRsub = 10% ; N = 5,0E6		
revestimento		5
base		17
sub base		15

Fonte: Própria.

Estrutura 7

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
1,00E+07	3,00	12,00	2,00	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N , determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 88\text{cm}$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 10\text{ cm}$ de Concreto Asfáltico.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o $\text{CBR} = 20\%$ (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$10 * 2 + B * 1 = 28$$

$$B = 8\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número "N".

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + h_{20} * 1 = 38$$

$$h_{20} = 3\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (3%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 88$$

$$h_n = 38\text{cm}$$

O dimensionamento resultou em:

Figura 17 - Espessuras da estrutura 7 - DNIT.

CBRsub = 3% ; N = 1,0E7		
revestimento		10
base		15
sub base		15
reforço		38

Fonte: Própria.

Estrutura 8

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
1,00E+07	6,00	12,00	2,00	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N , determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 58\text{cm}$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 10$ cm de Concreto Asfáltico.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o CBR = 20% (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$10 * 2 + B * 1 = 28$$

$$B = 8\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número "N".

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + h_{20} * 1 = 38$$

$$h_{20} = 3\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (6%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 58$$

$$h_n = 8\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

O dimensionamento resultou em:

Figura 18 - Espessuras da estrutura 8 - DNIT.

CBRsub = 6% ; N = 1,0E7		
revestimento		10
base		15
sub base		15
reforço		15

Fonte: Própria.

Estrutura 9

Número N	CBRsub (%)	CBRref (%)	Kr	Kb	Ks	Kn
1,00E+07	10,00	12,00	2,00	1,00	1,00	1,00

Em função do CBR do subleito e do número N, determina-se a espessura total do pavimento, o material granular para a proteção do subleito, que resulta em $H_t = 43\text{cm}$.

A espessura mínima de revestimento para o número N considerado é: $R = 10\text{ cm}$ de Concreto Asfáltico.

A espessura da base é determinada por meio da inequação seguinte, sendo H_{20} obtida em função de N e o CBR = 20% (valor mínimo adotado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006)).

$$R * K_r + B * K_b = H_{20}$$

$$10 * 2 + B * 1 = 28$$

$$B = 8\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura da sub-base é determinada pela inequação a seguir, tendo-se em vista o CBR do reforço (12%) e o número "N".

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_n$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + h_{20} * 1 = 38$$

$$h_{20} = 3\text{cm} \text{ (Se o resultado for menor que 15, adotar 15cm).}$$

A espessura de reforço necessária é obtida através da seguinte inequação, na qual H_m é definido com base no valor de N e no CBR do subleito (10%).

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n = H_m$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + 15 * 1 + h_n * 1 = 43$$

$$h_n = -7\text{cm} \text{ (Nesse caso não haverá a camada de reforço).}$$

Como não haverá uma camada de reforço é necessário verificar a espessura da sub-base para uma nova altura equivalente de valor H_m .

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s = H_m$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + h_{20} * 1 = 43$$

$$h_{20} = 8\text{cm} \text{ (Ainda assim a espessura resultou menor que 15 cm)}$$

O dimensionamento resultou em:

Figura 19 - Espessuras da estrutura 9 - DNIT.

CBRsub = 10% ; N = 1,0E7		
revestimento		10
base		15
sub base		15

Fonte: Própria.

6.3 Dimensionamento das estruturas de pavimento usando o SISPAV

Para utilização do SisPav, é necessário estabelecer uma estrutura inicial, do qual previamente precisa-se do conhecimento das características físicas das camadas que poderão compor a estrutura do pavimento, para isso baseia-se na Tabela 8 apresentada no item 4.1, onde a partir de uma relação do CBR dos materiais, descobre-se os possíveis módulos de resiliência apresentados na Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13.

O CBR utilizado para descobrir os módulos de resiliência da sub-base e do reforço foram os mesmos utilizados para o DNIT afim de compatibilizar no fim do experimento as estruturas com os mesmos materiais, base (80%), sub-base (20%) e reforço (12%). Utilizou-se também como dados de entrada para a estrutura inicial, as espessuras dimensionadas anteriormente pelo DNIT apresentadas no item 6.2. Os coeficientes de Poisson são utilizados como descritos no item 4.3.

Estrutura 1, 2 e 3, respectivamente:

Tabela 11 - Dados de entrada dos parâmetros físicos das estruturas 1,2 e 3 - SisPav.

CBRsub = 3% ; N = 6,0E5		CBRsub = 6% ; N = 6,0E5		CBRsub = 10% ; N = 6,0E5	
revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	revestimento	MR = 30 ; u= 0,30
base	MR = 500 ; u= 0,33	base	MR = 500 ; u= 0,33	base	MR = 500 ; u= 0,33
sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35
reforço	MR = 80,22 ; u= 0,45	reforço	MR = 101,07 ; u= 0,45	reforço	MR = 119,83 ; u= 0,45
subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45

Fonte: Própria.

Estrutura 4, 5 e 6, respectivamente:

Tabela 12 - Dados de entrada dos parâmetros físicos das estruturas 4,5 e 6 - SisPav.

CBRsub = 3% ; N = 5,0E6		CBRsub = 6% ; N = 5,0E6		CBRsub = 10% ; N = 5,0E6	
revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30
base	MR = 500 ; u= 0,33	base	MR = 500 ; u= 0,33	base	MR = 500 ; u= 0,33
sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35
reforço	MR = 80,22 ; u=0,45	reforço	MR = 101,07 ; u=0,45	reforço	MR = 119,83 ; u=0,45
subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45

Fonte: Própria.

Na tabela 13 aumentou-se o Módulo de Resiliência do revestimento, porque o número “N” será elevado e com um fim de diferir a composição das estruturas para comparação posteriormente

Estrutura 7, 8 e 9, respectivamente:

Tabela 13 - Dados de entrada dos parâmetros físicos das estruturas 7,8 e 9 – SisPav.

CBRsub = 3% ; N = 1,0E7		CBRsub = 6% ; N = 1,0E7		CBRsub = 10% ; N = 1,0E7	
revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30
base	MR = 500 ; u= 0,33	base	MR = 500 ; u= 0,33	base	MR = 500 ; u= 0,33
sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35
reforço	MR = 80,22 ; u=0,45	reforço	MR = 101,07 ; u=0,45	reforço	MR = 119,83 ; u=0,45
subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45

Fonte: Própria.

Incrementa-se os valores de tráfego presente nas proposições definidas anteriormente, para as estruturas com o tráfego de número N igual a 5,0E06 e 1,0E07, adotou-se o Eixo Duplo até se chegar ao valor correspondente. Já nas estruturas com tráfego de número N igual a 6,0E05, adotou-se Dois Eixos Simples (direcional) até chegar ao valor correspondente.

Seleciona-se na aba clima, a cidade do qual foi escolhida nesse trabalho, São Luís, e o mês de novembro por ser o possível mês de abertura do pavimento para receber tráfego. Depois disso, após várias simulações de tentativa e erro, chega-se a estrutura onde será prevista uma vida de serventia durante um período de 10 anos.

As imagens apresentadas a baixo, são capturas da tela do programa SisPav, onde apresentam como resultado final as espessuras definidas das

camadas, assim como a vida de projeto e deformação permanente estimada. Algumas estruturas não aparecem com algumas das camadas, por motivos que sua exclusão não afetou significativamente a sua capacidade estrutural.

Figura 20 - Espessuras da estrutura 1 - SisPav.

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.030	0.300	3	30.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	Material granular	0.100	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.100	0.350	3	93.82	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	52.98	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
 Dano Crítico no Pavimento: 0.36% com nível de confiabilidade de 50%
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo X)
 Vida de Projeto provavelmente elevada.
 Deformação permanente estimada: 1.197 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 1 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo A.

Figura 21 - Espessuras da estrutura 2 - SisPav.

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.030	0.300	3	30.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	Material granular	0.100	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.100	0.350	3	118.21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	92.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
 Dano Crítico no Pavimento: 0.67% com nível de confiabilidade de 50%
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo X)
 Vida de Projeto provavelmente elevada.
 Deformação permanente estimada: 0.948 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 2 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo B.

Figura 22 - Espessuras da estrutura 3 - SisPav.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.030	0.300	3	30.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	Material granular	0.100	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.100	0.350	3	140.16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	138.81	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
 Dano Crítico no Pavimento: 1.04% com nível de confiabilidade de 50%
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo X)
 Vida de Projeto provavelmente elevada.
 Deformação permanente estimada: 0.821 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 3 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo C.

Figura 23 - Espessuras da estrutura 4 - SisPav.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.150	0.300	3	4193.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	Material granular	0.350	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.350	0.350	3	93.82	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
4	Solo laterítico	0.150	0.450	3	80.22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	52.98	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
 Dano Crítico no Pavimento: 102.64% com nível de confiabilidade de 50%
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Vida de projeto estimada em 9.7 ano(s)
 Deformação permanente estimada: 0.343 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 4 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo D.

Figura 24 - Espessuras da estrutura 5 - SisPav.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.150	0.300	3	4193.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
x 2	Material granular	0.300	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.250	0.350	3	118.21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	92.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
Dano Crítico no Pavimento: 99.01% com nível de confiabilidade de 50%
Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
Vida de projeto estimada em 10.1 ano(s)
Deformação permanente estimada: 0.327 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 5 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo E.

Figura 25 - Espessuras da estrutura 6 - SisPav.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.150	0.300	3	4193.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
x 2	Material granular	0.250	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.150	0.350	3	140.16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	138.81	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
Dano Crítico no Pavimento: 93.82% com nível de confiabilidade de 50%
Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
Vida de projeto estimada em 10.7 ano(s)
Deformação permanente estimada: 0.322 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 6 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo F.

Figura 26 - Espessuras da estrutura 7 - SisPav.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.180	0.300	3	5000.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
x 2	Material granular	0.400	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.400	0.350	3	93.82	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
4	Solo laterítico	0.350	0.450	3	80.22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	52.98	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
 Dano Crítico no Pavimento: 94.16% com nível de confiabilidade de 50%
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Vida de projeto estimada em 10.6 ano(s)
 Deformação permanente estimada: 0.310 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 7 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo G.

Figura 27 - Espessuras da estrutura 8 - SisPav.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.180	0.300	3	5000.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
x 2	Material granular	0.350	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.250	0.350	3	118.21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	92.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
 Dano Crítico no Pavimento: 91.21% com nível de confiabilidade de 50%
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Vida de projeto estimada em 11.0 ano(s)
 Deformação permanente estimada: 0.327 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 8 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo H.

Figura 28 - Espessuras da estrutura 9 – SisPav.

Projeto Editar Resultados Ferramentas Ajuda

Estrutura Tráfego Clima Modelos Resultados

Estrutura do Pavimento:

Alterar Estrutura >>>

Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.180	0.300	3	5000.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
x 2	Material granular	0.350	0.330	1	500.00	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Solo laterítico	0.150	0.350	3	140.16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	138.81	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Seção do pavimento analisada considerando os modelos inseridos no SisPav.
 Dano Crítico no Pavimento: 85.31% com nível de confiabilidade de 50%
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Vida de projeto estimada em 11.7 ano(s)
 Deformação permanente estimada: 0.301 cm - Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Abortar

Fonte: Própria.

Os resultados gerados pela estrutura 9 dimensionada pelo SisPav é apresentada no Anexo I.

Os resultados com os dados de entrada e saída, além da análise feita pelo programa SisPav para cada estrutura dimensionada, são apresentados nos Anexos inclusos no final deste trabalho.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1 Avaliação dos esforços resultantes das estruturas dimensionadas pelo programa Elsym5

O estudo foi realizado após serem definidas todas as espessuras das estruturas do pavimento dimensionadas pelo método empírico e mecanístico-empírico, onde cada estrutura foi analisada através do Elsym5, resultando em esforços gerados a partir da aplicação de uma carga equivalente padrão de eixo.

Inicialmente para conhecer o comportamento dos pavimentos em relação a diferentes tipos de composições, com o tráfego variando em baixo, médio e pesado, concomitante a um CBR que apresentava valores de 3%, 6% e 10%. Quanto às outras camadas pertencentes as estruturas fixaram-se os valores mínimos de CBR adotados pela norma vigente.

Ao colocar os dados característicos de cada estrutura dimensionada previamente no Elsym5, têm-se como dados de saída a Deflexão no topo do revestimento (D), a deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento (Et) a deformação específica de compressão na fibra do topo do subleito (Ev).

Através das equações apresentadas para previsões de desempenho, chegou se a valores de vida útil do pavimento devido a fadiga na base do revestimento (Nf) apresentada na Equação 12 e Deformação permanente do subleito (Def. p).

Tabela 14 - Resultados relacionados as estruturas dimensionadas pelo método do DNIT analisadas através do Elsym5.

	DNIT				
	D	Et	Ev	Nf	Def. p(cm)
Estrutura 1	1,733E-02	0	-3,869E-03	0	0,523
Estrutura 2	5,299E-01	0	-4,641E-03	0	0,266
Estrutura 3	8,910E-01	0	-4,580E-03	0	0,177
Estrutura 4	6,479E-01	1,671E-04	-2,772E-03	1,795E+06	0,452
Estrutura 5	4,968E-01	1,676E-04	-3,540E-03	1,780E+06	0,467
Estrutura 6	4,012E-01	1,680E-04	-3,897E-03	1,768E+06	0,311
Estrutura 7	5,373E-01	1,678E-04	-2,556E-03	1,774E+06	0,504
Estrutura 8	4,079E-01	1,615E-04	-3,157E-03	1,976E+06	0,465
Estrutura 9	3,206E-01	1,546E-04	-2,923E-03	2,235E+06	0,632

Fonte: Própria

Tabela 15 - Resultados relacionados as estruturas dimensionadas pelo método do SisPav analisadas através do Elsym5.

	Sispav				
	D	Et	Ev	Nf	Def. p(cm)
Estrutura 1	1,589E+00	0	-1,871E-02	0	0,707
Estrutura 2	7,382E-01	0	-1,209E-02	0	0,520
Estrutura 3	5,386E-01	0	-8,806E-03	0	0,394
Estrutura 4	3,613E-01	1,108E-04	-1,130E-03	5,719E+06	0,302
Estrutura 5	2,850E-01	1,129E-04	-1,508E-03	5,424E+06	0,290
Estrutura 6	2,411E-01	1,148E-04	-1,675E-03	5,175E+06	0,286
Estrutura 7	3,070E-01	8,571E-05	-8,014E-04	1,036E+07	0,264
Estrutura 8	2,449E-01	8,688E-05	-1,130E-03	9,971E+06	0,286
Estrutura 9	1,984E-01	8,572E-05	-1,087E-03	1,036E+07	0,254

Fonte: Própria.

Pôde-se observar que mesmo com os mesmos níveis de tráfego sendo utilizados para base de cálculo dos dois métodos, houve grande diferença em espessuras dos revestimentos apresentados na Tabela 16, 17 e 18 utilizados para suportar a passagem de veículos durante o período de projeto.

Conclui-se também que a retirada da camada de reforço para as estruturas com subleito de CBR de 6% e 10% pouco influenciou na deformação permanente da estrutura, já que no método empírico o objetivo é proteger o subleito de esforços que possam levar a sua ruptura estrutural ou funcional.

Nas estruturas 1,2 e 3 não foi levado em conta a vida útil de fadiga, pois na última fibra da camada do revestimento estava ocorrendo apenas compressão, já que a espessura do mesmo é de 3 centímetros.

As estruturas 4,5,6,7,8 e 9 dimensionadas pelo método do DNIT estão subdimensionadas de acordo com o Nf apresentado na Tabela 14, apresentando uma vida útil de fadiga abaixo do especificado por projeto.

Para simplificar a visualização dos resultados obtidos, apresenta-se abaixo o resumo dos dimensionamentos das estruturas.

Tabela 16 - Resumo das estruturas dimensionadas com trafego leve.

Tabela 10 - Resumo das estruturas dimensionadas com traço leve.												
DNIT	CBRsub = 3% ; N = 6,0E5			TOTAL	CBRsub = 6% ; N = 6,0E5			TOTAL	CBRsub = 10% ; N = 6,0E5			TOTAL
	revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	3		revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	3		revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	3	
	base	MR = 500 ; u= 0,33	21		base	MR = 500 ; u= 0,33	21		base	MR = 500 ; u= 0,33	21	
	sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	15		sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	15		sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35	15	
	reforço	MR = 80,22 ; u= 0,45	37		reforço	MR = 101,07 ; u= 0,45	15		subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45	0	
	subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	0		subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	0					
SISPAV	CBRsub = 3% ; N = 6,0E5			TOTAL	CBRsub = 3% ; N = 6,0E5			TOTAL	CBRsub = 3% ; N = 6,0E5			TOTAL
	revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	3		revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	3		revestimento	MR = 30 ; u= 0,30	3	
	base	MR = 500 ; u= 0,33	10		base	MR = 500 ; u= 0,33	10		base	MR = 500 ; u= 0,33	10	
	sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	10		sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	10		sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35	10	
	subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	0		subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	0		subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45	0	

Fonte: Própria

Tabela 17 - Resumo das estruturas dimensionadas com trafego médio.

Resumo das estruturas dimensionadas com traçoço médio:												
DNIT	CBRsub = 3% ; N = 5,0E6			TOTAL	CBRsub = 6% ; N = 5,0E6			TOTAL	CBRsub = 10% ; N = 5,0E6			TOTAL
	revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	5		revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	5		revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	5	
	base	MR = 500 ; u= 0,33	17		base	MR = 500 ; u= 0,33	17		base	MR = 500 ; u= 0,33	17	
	sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	15		sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	15		sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35	15	
	reforço	MR = 80,22 ; u= 0,45	42		reforço	MR = 101,07 ; u= 0,45	15		subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45	0	
	subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	0		subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	0					
SISPAV	CBRsub = 3% ; N = 5,0E6			TOTAL	CBRsub = 6% ; N = 5,0E6			TOTAL	CBRsub = 10% ; N = 5,0E6			TOTAL
	revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	15		revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	15		revestimento	MR = 4193 ; u= 0,30	15	
	base	MR = 500 ; u= 0,33	35		base	MR = 500 ; u= 0,33	30		base	MR = 500 ; u= 0,33	25	
	sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	35		sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	25		sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35	15	
	reforço	MR = 80,22 ; u= 0,45	15		subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	0		subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45	0	
	subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	0									

Fonte: Própria

Tabela 18 - Resumo das estruturas dimensionadas com trafego pesado.

	CBRsub = 3% ; N = 1,0E7			TOTAL	CBRsub = 6% ; N = 1,0E7			TOTAL	CBRsub = 10% ; N = 1,0E7			TOTAL
	revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	10		revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	10		revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	10	
DNIT	base	MR = 500 ; u= 0,33	15	78	base	MR = 500 ; u= 0,33	15	55	base	MR = 500 ; u= 0,33	15	40
	sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	15		sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	15		sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35	15	
	reforço	MR = 80,22 ; u= 0,45	38		reforço	MR = 101,07 ; u= 0,45	15		subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45	0	
	subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45	0		subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	0					
	CBRsub = 3% ; N = 1,0E7			TOTAL	CBRsub = 6% ; N = 1,0E7			TOTAL	CBRsub = 10% ; N = 1,0E7			TOTAL
	revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	18		revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	18		revestimento	MR = 5000 ; u= 0,30	18	
SISPAV	base	MR = 500 ; u= 0,33	40	133	base	MR = 500 ; u= 0,33	35	78	base	MR = 500 ; u= 0,33	35	68
	sub base	MR = 93,82 ; u= 0,35	40		sub base	MR = 118,21 ; u= 0,35	25		sub base	MR = 140,16 ; u= 0,35	15	
	reforço	MR = 80,22 ; u= 0,45	35		subleito	MR = 92,24 ; u= 0,45	0		subleito	MR = 138,81 ; u= 0,45	0	
	subleito	MR = 52,98 ; u= 0,45										

Fonte: Própria

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Método Empírico de dimensionamento de pavimentos foi de grande valor durante décadas no Brasil. Porém, com o avanço tecnológico e o histórico de problemas nas rodovias nacionais, o Método Mecanístico-Empírico vem ganhando cada vez mais espaço no cenário brasileiro, mostrando a introdução da análise de fadiga e da deformação permanente e como trouxeram uma nova visão na forma de se dimensionar pavimentos.

As estruturas 4, 5 ,6 ,7 ,8 e 9 dimensionadas pelo Método do DNIT, apresentaram através da Equação 12, uma vida útil de fadiga menor que a estabelecida anteriormente pelo tráfego que iria circular, demonstrando assim que as normas vigentes no país em relação a dimensionamento de pavimentação não condizem com a realidade, necessitando urgentemente serem atualizadas.

Apesar das estruturas apresentarem os mesmos níveis de tráfego e características dos materiais, a maioria das estruturas dimensionadas através do SisPav tiveram uma maior espessura que às dimensionadas pelo Método do DNIT, apresentando uma serventia funcional e estrutural adequada durante o período previsto, resultando em uma economia financeira.

A partir dos resultados apresentados de deformações permanentes, notou-se que, apesar do método do DNIT fixar valores mínimos para a sub-base e base com o intuito de proteger o subleito de deformações provenientes do tráfego, as camadas trabalham de maneira conjunta, onde através do método mecanístico-empírico utilizado, retiramos a camada de reforço de algumas estruturas e mesmo assim a deformação permanente permaneceu em valor aceitável, o método leva em conta todas as possíveis interações apresentando resultados mais perto do que realmente acontece.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria necessário a caracterização física e mecânica de vários tipos de materiais utilizados nas obras de pavimentação do Estado do Maranhão, para assim obter resultados reais dos módulos de resiliência para a uma melhor caracterização dos projetos de pavimentação.

REFERÊNCIAS

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

BERNUCCI, L. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: ABEDA, 2006.

DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego**. Brasil: IPR - 723, 2006a.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006b.

FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos - SISPAV**. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2007.

GONÇALVES, F. P. **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. Brasil: [s.n.], 1999.
HUANG, Y. H. Pavement analysis and design. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2004.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **IP-08 Análise mecanicista à fadiga de estruturas de pavimento**. São Paulo: PMSP, 2002.

REIS, T. G1. **Com aumento da frota, país tem 1 automóvel para cada 4 habitantes, 2014**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2014/03/com-aumento-da-frota-pais-tem-1-automovel-para-cada-4-habitantes.html>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

SOUZA, M. L. **Pavimentação rodoviária**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1980.

VASSOLER, G. **Análise numérica do comportamento mecânico de pavimentos submetidos a variação de temperatura**. Dissertação de Ms. UNIJUÍ. Ijuí, RS. Brasil. 2008.

ANEXOS

ANEXO A

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 0.36% de dano relativo a:

Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo X)

Nível de confiabilidade de 50%

Vida de serviço estimada em 2741.6 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:

Não Avaliado

Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado

Modelos:**Fadiga de Misturas Asfálticas**

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): $1.904e-6$
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:

São Luiz

Mês de Abertura do Tráfego:

Novembro

Temperatura Média Anual do Ar:

26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.030	0.300	mod = 3 k1 = 30.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.100	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.100	0.350	mod = 3 k1 = 93.820 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 52.980 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo III CBR (%) = 3 % Silte na fração fina #200 = 80.0

Dados do Tráfego

Varição lateral do tráfego:	0.30m
% de veículos na faixa de tráfego:	100%
Alinhamento crítico:	0.00m
Distância média entre rodas (SX):	0.324m
Distância média entre eixos (SY):	1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	2	5832	0.000	12000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 1.197cm
Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	0.402	0.012	0.015	0.767	1.197
	Totais acumulados	0.402	0.012	0.015	0.767	1.197

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
116.948	82.962	63.959	44.946	33.677	22.036	16.407	13.104

ANEXO B

SisPav
v. 10/09/07

Relatório Técnico
Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:
Filipe Augusto Cinque de Proença Franco
email: filipefacpf@yahoo.com.br

Dimensionamento

Seção do pavimento dimensionada com 0.67% de dano relativo a:
Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo X)
Nível de confiabilidade de 50%
Vida de serviço estimada em 1501.4 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície: Não Avaliado
Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito: Não Avaliado

Modelos:

Fadiga de Misturas Asfálticas

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:
Mês de Abertura do Tráfego:
Temperatura Média Anual do Ar:

São Luiz
Novembro
26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.030	0.300	mod = 3 k1 = 30.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.100	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.100	0.350	mod = 3 k1 = 118.210 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 92.240 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo II CBR (%) = 7 % Silte na fração fina #200 = 50.0

Dados do Tráfego

Varição lateral do tráfego:	0.30m
% de veículos na faixa de tráfego:	100%
Alinhamento crítico:	0.00m
Distância média entre rodas (SX):	0.324m
Distância média entre eixos (SY):	1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	2	5832	0.000	12000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.948cm
 Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	0.403	0.013	0.012	0.520	0.948
	Totais acumulados	0.403	0.013	0.012	0.520	0.948

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
73.660	48.879	36.586	25.320	19.028	12.588	9.415	7.528

ANEXO C

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 1.04% de dano relativo a:
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo X)
 Nível de confiabilidade de 50%
 Vida de serviço estimada em 962.4 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:

Não Avaliado

Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado

Modelos:**Fadiga de Misturas Asfálticas**

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:

São Luiz

Mês de Abertura do Tráfego:

Novembro

Temperatura Média Anual do Ar:

26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.030	0.300	mod = 3 k1 = 30.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.100	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.100	0.350	mod = 3 k1 = 140.160 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 138.810 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo III CBR (%) = 3 % Silte na fração fina #200 = 80.0

Dados do Tráfego

Variação lateral do tráfego: 0.30m
 % de veículos na faixa de tráfego: 100%
 Alinhamento crítico: 0.00m
 Distância média entre rodas (SX): 0.324m
 Distância média entre eixos (SY): 1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	2	5832	0.000	12000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	0.00	0.00	1.04	0.00	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	1.04	0.00	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.821cm
 Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	2 - Dois eixos simples (direcional)	0.403	0.013	0.011	0.394	0.821
	Totais acumulados	0.403	0.013	0.011	0.394	0.821

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
52.524	32.883	24.091	16.567	12.519	8.344	6.254	5.003

ANEXO D

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 102.64% de dano relativo a:
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Nível de confiabilidade de 50%
 Vida de serviço estimada em 9.7 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:

Não Avaliado

Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado

Modelos:Fadiga de Misturas Asfálticas

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:

São Luiz

Mês de Abertura do Tráfego:

Novembro

Temperatura Média Anual do Ar:

26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.150	0.300	mod = 3 k1 = 4193.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.350	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.350	0.350	mod = 3 k1 = 93.820 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solo laterítico	0.150	0.450	mod = 3 k1 = 80.220 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
5	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 52.980 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo III CBR (%) = 3 % Silte na fração fina #200 = 80.0

Dados do Tráfego

Variação lateral do tráfego: 0.30m
 % de veículos na faixa de tráfego: 100%
 Alinhamento crítico: 0.00m
 Distância média entre rodas (SX): 0.324m
 Distância média entre eixos (SY): 1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	5 - Eixo duplo	2	152000	0.000	10000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	5 - Eixo duplo	0.00	0.00	17.10	102.64	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	17.10	102.64	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.343cm
 Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Cam 5	Total Eixo
1	5 - Eixo duplo	0.024	0.008	0.006	0.002	0.302	0.343
	Totais acumulados	0.024	0.008	0.006	0.002	0.302	0.343

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
45.701	41.146	37.480	32.238	27.793	21.258	16.937	13.936

ANEXO E

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 99.01% de dano relativo a:
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Nível de confiabilidade de 50%
 Vida de serviço estimada em 10.1 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:

Não Avaliado

Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado

Modelos:Fadiga de Misturas Asfálticas

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:

São Luiz

Mês de Abertura do Tráfego:

Novembro

Temperatura Média Anual do Ar:

26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.150	0.300	mod = 3 k1 = 4193.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.300	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.250	0.350	mod = 3 k1 = 118.210 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 92.240 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo II CBR (%) = 7 % Silte na fração fina #200 = 50.0

Dados do Tráfego

Varição lateral do tráfego:	0.30m
% de veículos na faixa de tráfego:	100%
Alinhamento crítico:	0.00m
Distância média entre rodas (SX):	0.324m
Distância média entre eixos (SY):	1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	5 - Eixo duplo	2	152000	0.000	10000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	5 - Eixo duplo	0.00	0.00	16.14	99.01	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	16.14	99.01	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.327cm

Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	5 - Eixo duplo	0.025	0.008	0.005	0.290	0.327
	Totais acumulados	0.025	0.008	0.005	0.290	0.327

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
36.587	32.128	28.578	23.588	19.468	13.727	10.267	8.091

ANEXO F

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 93.82% de dano relativo a:
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Nível de confiabilidade de 50%
 Vida de serviço estimada em 10.7 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:

Não Avaliado

Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado

Modelos:Fadiga de Misturas Asfálticas

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): $1.904e-6$
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:

São Luiz

Mês de Abertura do Tráfego:

Novembro

Temperatura Média Anual do Ar:

26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.150	0.300	mod = 3 k1 = 4193.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.250	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.150	0.350	mod = 3 k1 = 140.160 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 138.810 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo I CBR (%) = 12 % Silte na fração fina #200 = 20.0

Dados do Tráfego

Varição lateral do tráfego:	0.30m
% de veículos na faixa de tráfego:	100%
Alinhamento crítico:	0.00m
Distância média entre rodas (SX):	0.324m
Distância média entre eixos (SY):	1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	5 - Eixo duplo	2	152000	0.000	10000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	5 - Eixo duplo	0.00	0.00	14.86	93.82	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	14.86	93.82	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.322cm
Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	5 - Eixo duplo	0.026	0.007	0.003	0.286	0.322
	Totais acumulados	0.026	0.007	0.003	0.286	0.322

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
30.456	26.118	22.714	18.027	14.284	9.385	6.723	5.207

ANEXO G

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 94.16% de dano relativo a:
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Nível de confiabilidade de 50%
 Vida de serviço estimada em 10.6 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:

Não Avaliado

Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado

Modelos:Fadiga de Misturas Asfálticas

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:

São Luiz

Mês de Abertura do Tráfego:

Novembro

Temperatura Média Anual do Ar:

26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.180	0.300	mod = 3 k1 = 5000.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.400	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.400	0.350	mod = 3 k1 = 93.820 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solo laterítico	0.350	0.450	mod = 3 k1 = 80.220 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
5	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 52.980 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo III CBR (%) = 3 % Silte na fração fina #200 = 80.0

Dados do Tráfego

Variação lateral do tráfego: 0.30m
 % de veículos na faixa de tráfego: 100%
 Alinhamento crítico: 0.00m
 Distância média entre rodas (SX): 0.324m
 Distância média entre eixos (SY): 1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	5 - Eixo duplo	2	304000	0.000	10000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	5 - Eixo duplo	0.00	0.00	18.28	94.16	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	18.28	94.16	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.310cm
 Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Cam 5	Total Eixo
1	5 - Eixo duplo	0.029	0.007	0.005	0.003	0.264	0.310
	Totais acumulados	0.029	0.007	0.005	0.003	0.264	0.310

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
37.841	34.884	32.433	28.733	25.381	20.051	16.270	13.557

ANEXO H

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 91.21% de dano relativo a:
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Nível de confiabilidade de 50%
 Vida de serviço estimada em 11.0 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:

Não Avaliado

Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado

Modelos:Fadiga de Misturas Asfálticas

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:

São Luiz

Mês de Abertura do Tráfego:

Novembro

Temperatura Média Anual do Ar:

26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.180	0.300	mod = 3 k1 = 5000.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.350	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.250	0.350	mod = 3 k1 = 118.210 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 92.240 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo II CBR (%) = 7 % Silte na fração fina #200 = 50.0

Dados do Tráfego

Variação lateral do tráfego: 0.30m
 % de veículos na faixa de tráfego: 100%
 Alinhamento crítico: 0.00m
 Distância média entre rodas (SX): 0.324m
 Distância média entre eixos (SY): 1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	5 - Eixo duplo	2	304000	0.000	10000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	5 - Eixo duplo	0.00	0.00	17.37	91.21	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	17.37	91.21	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.327cm
 Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	5 - Eixo duplo	0.030	0.007	0.004	0.286	0.327
	Totais acumulados	0.030	0.007	0.004	0.286	0.327

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
30.670	27.761	25.369	21.797	18.616	13.722	10.452	8.269

ANEXO I

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico**Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos**

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Francoemail: filipefacpf@yahoo.com.br**Dimensionamento**

Seção do pavimento dimensionada com 85.31% de dano relativo a:
 Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
 Nível de confiabilidade de 50%
 Vida de serviço estimada em 11.7 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:
 Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:

Não Avaliado
 Não Avaliado

Modelos:**Fadiga de Misturas Asfálticas**

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local:
 Mês de Abertura do Tráfego:
 Temperatura Média Anual do Ar:

São Luiz
 Novembro
 26.142°C

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMA (°C)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26.100	25.700	25.800	25.800	25.900	25.900	25.700	26.000	26.400	26.600	27.000	26.800

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.180	0.300	mod = 3 k1 = 5000.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25°C 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSO (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 4.5 Teor de asfalto (%) = 6.0 RBV (%) = 73.5 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 90.0 % passando #3/8 = 62.5 % passando #4 = 44.0 % passando #200 = 5.5
2	Material granular	0.350	0.330	mod = 1 k1 = 500.000 k2 = 0.300 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
3	Solo laterítico	0.150	0.350	mod = 3 k1 = 140.160 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 138.810 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo I CBR (%) = 12 % Silte na fração fina #200 = 20.0

Dados do Tráfego

Varição lateral do tráfego:	0.30m
% de veículos na faixa de tráfego:	100%
Alinhamento crítico:	0.00m
Distância média entre rodas (SX):	0.324m
Distância média entre eixos (SY):	1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	5 - Eixo duplo	2	304000	0.000	10000.00	0.800

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	5 - Eixo duplo	0.00	0.00	15.67	85.31	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	0.00	0.00	15.67	85.31	0.00	0.00

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 0.301cm

Abaixo do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	5 - Eixo duplo	0.037	0.007	0.002	0.254	0.301
	Totais acumulados	0.037	0.007	0.002	0.254	0.301

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
 Raio do Carregamento = 0.108m
 Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
26.515	23.324	20.782	17.126	14.025	9.606	6.961	5.366